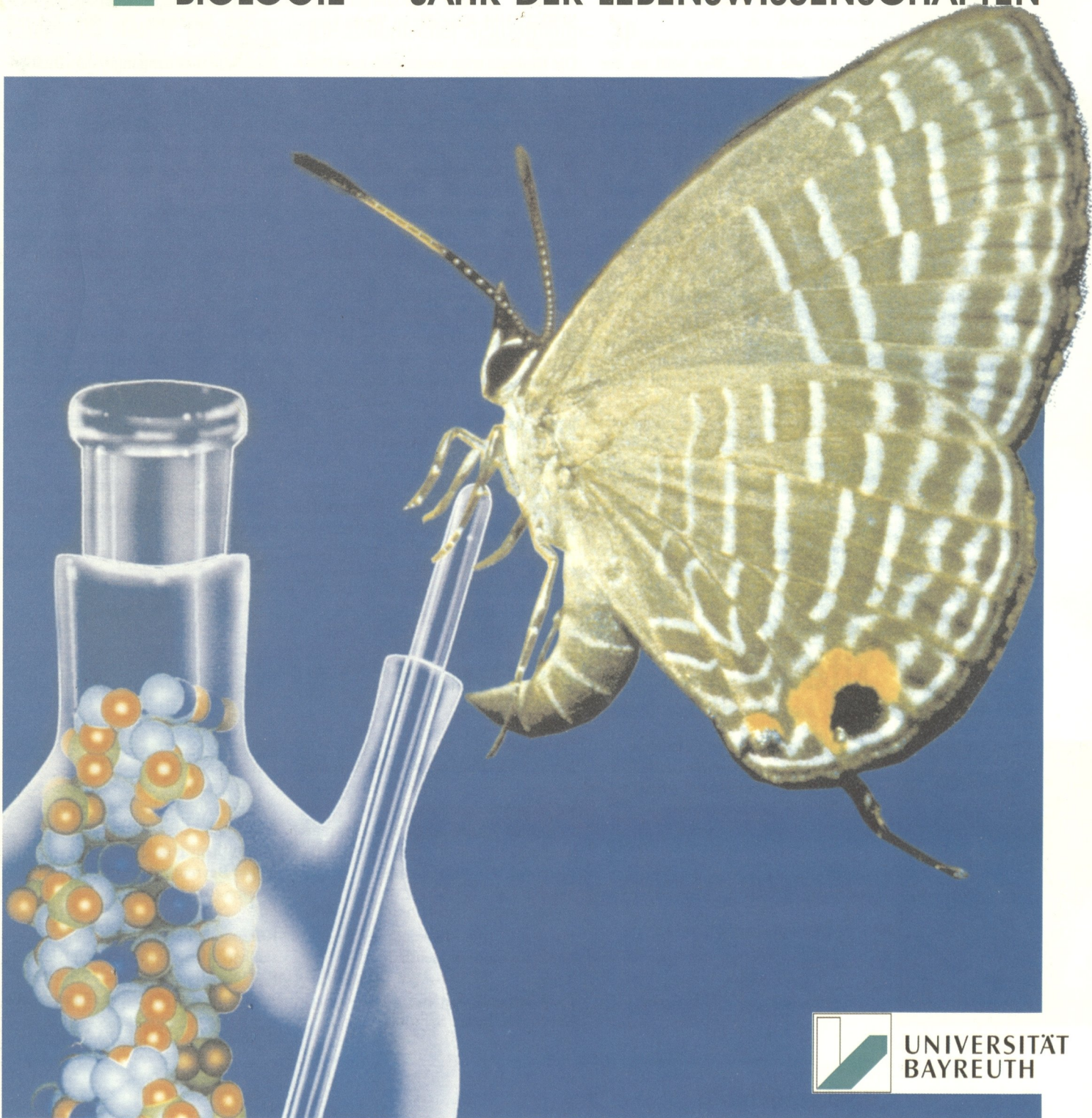


2/01

spektrum

BIOLOGIE - JAHR DER LEBENSWISSENSCHAFTEN



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Editorial



Präsident der Universität Bayreuth
Prof. Dr. Dr. h.c.
Helmut Ruppert

Das SPEKTRUM ist ein Bindeglied der Universität Bayreuth zur Öffentlichkeit. Die Universität hat diese Verbindung bereits in der Vergangenheit durch eine Neukonzeption des SPEKTRUM betont, viele Beiträge konnten zeigen, welche Arbeit in Forschung und Lehre an der Universität Bayreuth geleistet wird.

Dennoch tauchen immer wieder Fragen auf, wie z.B. „Was wird an der Universität zur Zeit gearbeitet?“, „Welche Fragen interessieren die Wissenschaftler der Universität?“, „Was ist davon für die Öffentlichkeit interessant?“

Wir haben uns daher entschlossen, im SPEKTRUM noch deutlicher einzelne Forschungsgebiete der Universität vorzustellen. Dies sollte möglichst verständlich für einen großen Kreis von Interessierten außerhalb der eigentlichen Fachwissenschaften angeboten werden.

Das Jahr 2001 wurde zum Jahr der Lebenswissenschaften bestimmt. Eine Vortragsreihe und Ausstellung „Biologie - Jahr der Lebenswissenschaften“ im Ökologisch-Botanischen Garten der Universität Bayreuth informiert über Ergebnisse von Arbeitsgruppen der Bayreuther Biologie. Bei der Eröffnung dieser Ausstellung richtete der Bayreuther Mikrobiologe Professor Ortwin Meyer an alle Wissenschaftler und Bürger den Appell: „Wir alle soll-

ten die Möglichkeiten und die Effekte der Biowissenschaften für die gesellschaftliche Entwicklung kennen und uns dazu eine Meinung bilden, denn wir haben die Verpflichtung daran mitzuwirken, dass gute Zukunftsentscheidungen getroffen werden“. Was lag also näher als die Biologie in einer SPEKTRUM-Ausgabe zu Worte kommen zu lassen.

Die Biologie trägt wesentlich zum Profil der Universität Bayreuth seit ihrer Gründung bei. Deutschlandweit wird die Bayreuther Biologie hoch geschätzt - das zeigen die hohen Drittmittelgelder, die die Biologie erhält. Querschnittsthemen und zugleich Schwerpunkte an der Universität Bayreuth sind dabei die Ökosystemforschung und die molekularen Biowissenschaften. Dabei kommt es zu vielfachen Vernetzungen, einerseits zu den Geowissenschaften, andererseits aber auch zur Biochemie und neuerdings auch zur Biophysik sowie zur Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften (Umweltgerechte Produktionstechnik, Bioproszesstechnik).

Um diese interdisziplinären und fachübergreifenden Forschungen noch effektiver zu gestalten, wurde das Bayreuther Zentrum für Molekulare Biowissenschaften gegründet und wird in diesem Jahr noch ein Zentrum für Ökologie und Umweltwissenschaften geschaffen werden, das man auch als eine

Weiterführung und Verbreiterung der Arbeit, die bisher hervorragend im BITÖK (Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung) geleistet wurde, verstehen kann. In diesen interdisziplinären zentralen Einrichtungen der Universität wird immer stärker auch die Profilierung der Universität Bayreuth für ihre Zukunft deutlich.

Auch die Studiengänge der Biologie tragen den zukünftigen Erfordernissen einer stärkeren Vernetzung Rechnung. So hat der Diplomstudiengang Biologie zwei Studienrichtungen: die ökologische und organismische Biologie sowie die Molekular- und Zellbiologie. Daneben bestehen die verwandten Diplomstudiengänge Geoökologie sowie Biochemie. Die Modularisierung des Studiums lässt sehr viele Vertiefungsrichtungen zu. Mit der Einführung des Diplomstudienganges Umwelt- und Bioingenieurwissenschaften in der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften im Wintersemester 1999/00 sowie der Einführung der Studienrichtung Biophysik zum Wintersemester 2001/02 werden Studierenden interessante Möglichkeiten der Verbindung der Biowissenschaften hin zu den Ingenieurwissenschaften sowie zur Physik geboten.

H. Ruppert

Titelbild

Im Titelbild finden sich Elemente aus einem Plakat der Posterausstellung im Ökologisch-Botanischen Garten zum Jahr der Lebenswissenschaften.



Impressum

Herausgeber:

Der Präsident der Universität Bayreuth

Redaktion: Pressestelle der Universität Bayreuth / Jürgen Abel, M.A. (verantwortlich)

Anschrift: 95440 Bayreuth

Telefon (09 21) 55-53 23/4

Telefax (09 21) 55-53 25

pressestelle@uni-bayreuth.de

<http://www.uni-bayreuth.de>

Graphische Gestaltung:

Evi Remer/Bernd Schröder

Fotos:

J. Abel und andere

Auflage: 4000 / dreimal jährlich

Druck: Ellwanger, Bayreuth

Maximilianstraße 58/60

95444 Bayreuth

Telefon (0921) 500-0

Kürzungen und Bearbeitung eingesandter Manuskripte behält sich die Redaktion vor.

Alle Beiträge sind bei Quellenangaben frei zur Veröffentlichung.

Belegexemplare sind erwünscht.

Inhalt

Biologie - Jahr der Lebenswissenschaften

Botanik

- Identität und Selektivität von Flechten-Symbionten 4
- Nachtblütige Mittagsblumen 7
- Kaktoide Schwalbenwurzgewächse 8
- Literweise Nektar: Ökophysiologie äthiopischer Schopfbäume 10
- Spinat, Gänsefuß et al. 2001 12
- Stabile Isotope 15
- Blattadern, Blattnerven 16
- Der Wasserhaushalt von Pflanzen 18
- Evolution: Divergenz - Konvergenz 23
- Ökosystemare Prozesse 24

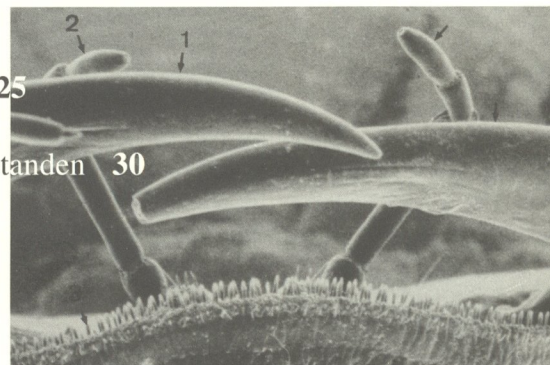


Didaktik der Biologie

Perspektiven der Biologiedidaktik 20

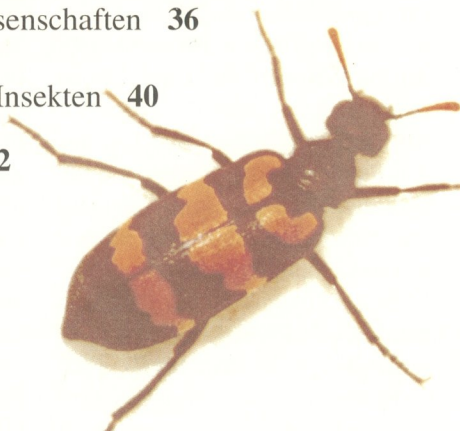
Mikrobiologie

- Koordination - Signale - Regulation 25
- Zellen - Ökosysteme 27
- Giftgas als Nahrung - molekular verstanden 30



Genetik

- 2001 - Jahr der Lebenswissenschaften 36
- Bacillus subtilis 38
- Identifizierung transgener Insekten 40
- Elektronenmikroskopie 42



Zoologie

- Verhalten & Gesundheit 46
- Cantharidin, ein besonderer Saft 50
- Ein neues Graduiertenkolleg 52
- Tropische Artenvielfalt 54
- Fließgewässerdynamik und Biodiversität 56

Campus

- Oper hinter den Kulissen 58
- Gesundheitssportprogramm mit Breitbandwirkung 62

Interview

- Hermann Hiery - Neuste Geschichte 65
- Herbert Popp - Stadtgeographie und Geographie des ländlichen Raums 67
- Friedrich H. Busse - Theoretische Physik 69

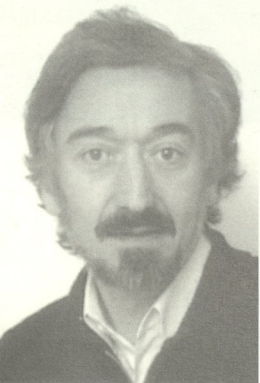
Personalia

- Migrationsforschung 64

Identität und Selektivität von Flechten-Symbionten

Gerhard Rambold

Die Untersuchung von Flechten hinsichtlich Zusammensetzung, Architektur und Wechselbeziehungen ihrer Komponenten ist Forschungsschwerpunkt in der Abteilung Mykologie/Lichenologie am Lehrstuhl Pflanzen systematik der Universität Bayreuth.



Prof. Dr. Gerhard Rambold, Lehrstuhl für Pflanzen systematik

Flechten eignen sich für das Studium von Symbiosen besonders gut, da es sich um abgegrenzte Systeme aus Pilzen und Algen handelt, die zumeist extrem langsam wachsen und deren Entwicklung über einen langen Zeitraum hinweg beobachtet werden kann. Erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurde die symbiontische Natur der Flechten erkannt. Die pilzlichen Partner der Flechten gehören fast ausschließlich zur Klasse der Schlauchpilze (Ascomyzeten) einer Pilzgruppe in der neben der symbiontisch-mutualistischen Lebensweise noch zahlreiche andere Lebensstrategien realisiert sind. Bei diesen dauerhaften Lebensgemeinschaften bestimmt zumeist der Pilz die Gesamtmorphologie des Systems, während die Algen (Grünalgen oder Blaualgen bzw. Cyanobakterien) Assimilationsprodukte bereitstellen.

Die morphologische Vielfalt ist bei Flechten enorm. So finden sich ne-

ben krustigen auch schuppige, strauchige, blättrige und einige andere Organisationsformen. Heute werden über 20.000 Arten unterschieden. Viele besiedeln extreme Habitate wie Hochgebirge und Wüsten. Neben Systemen, die aus zwei obligaten Bionten aufgebaut sind, existieren auch tripartite Assoziationen mit Cyanobakterien neben Grünalgen als Photobionten. Im symbiontischen Zustand sind die artspezifischen Feinstrukturen der Photobionten nur unzureichend ausgeprägt, weshalb die Algenzellen zu Identifikationszwecken aus den Flechtenlagern isoliert, auf bestimmten Medien kultiviert und mit molekulargenetischen Methoden untersucht werden.

Über die Selektivität der Flechtenbionten bei der Wahl des Symbiosepartners weiß man bisher noch recht wenig. Untersuchungen dazu sind ein Forschungsschwerpunkt in der Abteilung Mykologie/Lichenologie. Dort wird - in Kooperation mit anderen Arbeitsgruppen - ein umfassendes Screening bezüglich der Bionten von Flechten verschiedener Verwandtschaftsgruppen durchgeführt. Es zeichnet sich dabei ab, daß die Selektivität der Symbiosepartner recht unterschiedlich ausgeprägt ist und verschiedene Ursachen hat. Eine phy-

logenetisch determinierte Selektivität kann vor allem auf höherer systematischer Ebene, also auf dem Niveau von Familien und Ordnungen, festgestellt werden.

Die Suche nach Hinweisen auf koevolutive Prozesse bei verwandten Arten oder Gattungen verlief bisher jedoch ergebnislos. Bei keiner der untersuchten Flechtengruppen ergab die Gegenüberstellung molekular-phylogenetischer Stammbäume der Flechtensymbionten Symmetrien in der Phylogenie korrespondierender Myko- und Photobionten, die auf Kospeziation zurückzuführen wären. Derzeit muß man wohl davon ausgehen, daß koevolutive Prozesse keine entscheidende Rolle in der Evolution der Flechtenpartner spielen.

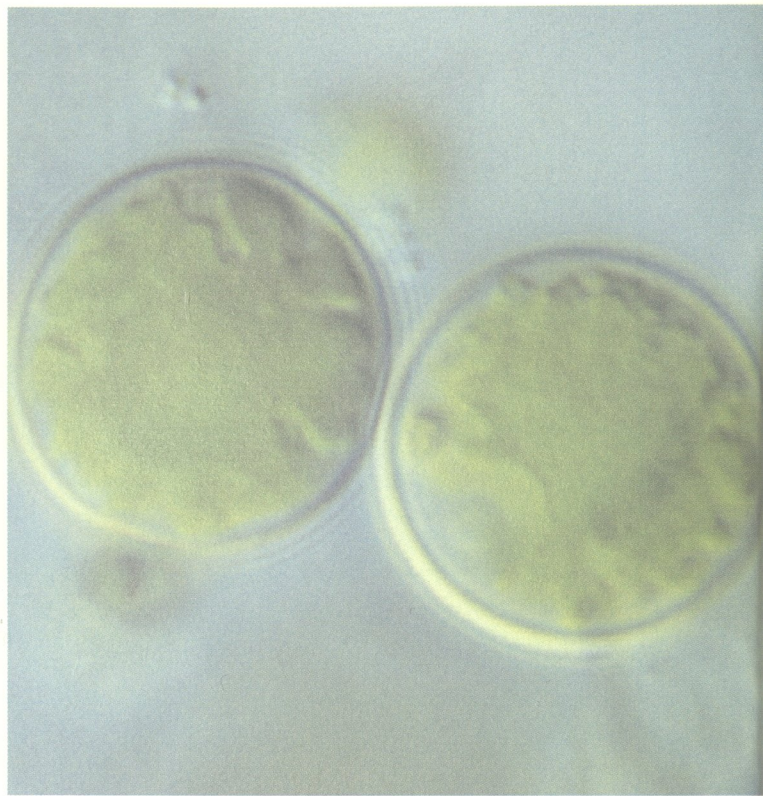
Die bei den Symbionten bislang festgestellten Präferenzen in der Partnerwahl lassen sich eher mit parallelen ökologischen Ansprüchen erklären. Hinweise dazu ergeben sich aus vergleichenden Analysen des Photobionteninventars ganzer Flechtengesellschaften. Das Beispiel einer Krustenflechtengesellschaft, die in alpinen Lagern schwermetallreiche Gesteine kolonisiert, weist deutlich auf eine spezifische Standortanpassung bei den Photobionten hin: Die dort vorgefundenen, genetisch weitge-

Die strauchig wachsende Wolfsflechte *Letharia vulpina* stellt einen Lebensraum für eine Vielzahl von lichenikolen Pilzen dar.





Die Flechtengesellschaft *Acarosporium sinopicae* (links) auf schwermetalldreihem Substrat weist eine sehr geringe Diversität der Photobionten auf. An solchen Standorten ist die Flechtenalge *Trebouxia jamesii* (rechts) mit ihrer Toleranz gegenüber hohen Schwermetallkonzentrationen nahezu konkurrenzlos.



hend einheitlichen Algen besitzen, im Gegensatz zu Stämmen auf anderen Substraten, eine deutliche, in Kultur nachweisbare Schwermetalltoleranz.

Die in Bayreuth durchgeführten Untersuchungen an Gemeinschaften von Flechten mit Algen der Gattung *Trebouxia*, lassen erste Aussagen über die Verbreitungsstrategien der beteiligten Flechtenpilze und -algen zu. Da *Trebouxia*-Arten bisher nicht völlig zweifelsfrei als „freilebend“, d. h. vom Mykobiota unabhängig vorkommend, nachgewiesen werden konnten, ist anzunehmen, dass die Primärbesiedlung neuer Substrate hier vor allem mittels lichenisierter Verbreitungseinheiten, sogenannter „Soredien“ und „Isidien“, erfolgt. Diese beinhalten Material beider obligater Symbionten und differenzieren sich unter günstigen Bedingungen zu einem Flechtenlager. Die Besiedlung durch weitere Flechtenarten kann über Sporen erfolgen, die mit Algenzellen bereits etablierter Flechtenlager in Kontakt treten. Es deutet sich an, daß als Photobiontenquelle

für sich etablierende Flechten auch Soredien von Flechtenarten dienen, die am Standort selbst keine Entwicklungsmöglichkeiten haben.

Bei sich ausschließlich sexuell reproduzierenden Flechtenpilzen dürfte die Lagerbildung („Relichenisierung“) also nicht, wie bisher angenommen, vor allem durch Kontaktaufnahme gekeimter Flechtenpilzhypen mit freilebenden Algen eingeleitet werden, sondern vielfach auch durch das Aufeinandertreffen von Hyphen und Algenzellen aus vorhandenen Soredien oder etablierten Flechtenlagern. Zur Klärung dieser Fragen werden derzeit die im Mediterrangebiet häufigen „Bunten Erdflechtengesellschaften“ analysiert.

Flechten sind Lebensraum für eine Vielzahl von Organismen, vor allem für Pilze. Mittlerweile kennt man über 1000 fakultativ oder obligat flechtenbewohnende („lichenokole“) Pilzarten, die größtenteils den Ascomyzeten sowie der Gruppe sogenannter „imperfekter“ Pilze angehören. Ihre Identifikation erfolgt sowohl mittels mikroskopischer

Analyse der Feinstrukturen als auch durch den Vergleich von DNA-Sequenzdaten aus kultiviertem Material.

Im Rahmen einer breit angelegten Studie über fakultativ assoziierte Pilze in Gesellschaften der Wolfsflechte *Letharia vulpina* konnten bereits einige hundert Pilzstämme isoliert werden. Durch wiederholte Beprobung verschiedener Standorte wird geprüft, welche der gewonnenen Arten obligate und welche nur zufällig auftretende Besiedler sind. Erste Ergebnisse lassen für einen Teil der Stämme eine relativ enge Bindung an die Wirtsflechte erkennen. Es gilt nun zu klären, welche der Arten in den Wirtsflechtenlagern als Saprophyten und welche als Symbionten in mutualistischer Beziehung zu den Flechtenalgen leben. Es wird noch großer Anstrengungen bedürfen, um fundierte Aussagen bezüglich Selektivität, Ernährungsbiologie, Reproduktions- und Verbreitungsstrategie für zumindest einen Teil der flechtenassoziierten Organismen treffen zu können. □

Pflanzensystematik

Nachtblütige Mittagsblumen

Andreas Jürgens

Die Entstehung der Blüte war wohl eine der erfolgreichsten Neuerungen im Laufe der Evolution der Gefäßpflanzen. Blütenpflanzen sind die bei weitem dominierende Pflanzengruppe weltweit und machen einen großen Teil unserer heutigen sichtbaren Pflanzenwelt aus. Damit die dringend benötigten Bestäuber „ihre“ Blüten finden, machen die tierbestäubten Blüten meist reichlich Werbung. Sie heben sich durch ihre Farben und Düfte von der Umgebung ab und können so gezielt erkannt und aufgesucht werden. Wie auf einem Markt regulieren dabei Angebot und Nachfrage die Beziehungen und es kann sowohl zur Konkurrenz um Blüten seitens der Bestäuber als auch zur Konkurrenz um Bestäuber seitens der Blüten kommen. Diese Konkurrenz hat zur Entwicklung von besonders vielen und engen Partnerschaften geführt, in denen die Blumen an die Bedürfnisse der bestäubenden Tiere angepasst sind und umgekehrt. Nachtfalterblumen zeigen eine Reihe typischer Merkmale anhand derer man sie von anderen Bestäubungssyndromen unterscheiden kann. Häufig findet sich eine lange Blütenröhre mit tief geborgenem Nektar und eine weiße oder blasser Blütenfarbe. Desweiteren öffnen die Blüten vieler nachtblütiger Ar-

ten erst am Abend und geben damit den Zugang zum Nektar für blütenbesuchende Insekten frei. Eines der auffälligsten Charakteristika nachtblühender Pflanzen ist jedoch ihr Duft, der häufig in der Abenddämmerung stark an Intensität zunimmt und auf den Menschen meist angenehm süßlich wirkt.

Im Jahre 1999 wurde am Lehrstuhl für Pflanzensystematik mit der Untersuchung der in Südafrika beheimateten Gattung *Conophytum* aus der Familie der Mittagsblumengewächse (Aizoaceae) begonnen. Ein Drittel der etwa 90 Arten umfassenden Gattung gilt als nachtblütig. Hauptverbreitungsgebiet der Gattung *Conophytum* sind die Winterregengebiete Südafrikas und Namibias. Als Anpassung an extreme Trockenheit sind die Vegetationskörper der Pflanzen stark reduziert. Viele Arten sehen Kieselsteinen ähnlich und finden sich eingesenkt im Boden oder versteckt in Felspalten.

Die von uns analysierten Blütendüfte verschiedener nachtblütiger Conophyten weisen die typischen Verbindungen auf, die wir bei von Nachtfaltern bestäubten Pflanzen erwarten würden. Interessant ist allerdings, dass wir zwei verschiedene Gruppen innerhalb der Gattung unterscheiden können. Arten die mehr im Norden Südafrikas vor-

kommen, also in den trockeneren Gebieten, weisen eher unspezifische Blütendüfte auf, wohingegen Arten deren Verbreitungsgebiet im Süden liegt, also in der Kapregion mit eher mediterranen Klima, die spezifischeren Komponenten aufweisen.

Unsere erste Vermutung war, dass die Unterschiede im Blütenduft auf Anpassungen an unterschiedliche Bestäubergruppen in diese beiden Regionen zurückzuführen sind und einen unterschiedlichen Grad an Spezialisierung widerspiegeln. Allerdings ist hier die Interpretation der Daten nicht ganz einfach, da erstens kaum Informationen über Blütenbesucher an Conophyten vorliegen, und zweitens über die Verwandtschaft der Arten innerhalb der Gattung zur Zeit keine genauen Aussagen gemacht werden können. Um diese Fragen beantworten zu können, sollen deshalb in den nächsten Jahren Freilanduntersuchungen in Südafrika durchgeführt werden, um Informationen über die Bestäuber zu sammeln. Weiterhin wurde begonnen, die Verwandtschaft der Arten mit Hilfe molekularer Methoden aufzuklären. □

Conophytum vanzylii, eine nachtblütige Art aus dem Norden Südafrikas.



Kaktoide

Schwalbenwurzgewächse

Ulrich Meve



Dr. Ulrich Meve

Die überwiegend subtropisch/tropisch verbreiteten Schwalbenwurzgewächse (Apocynaceae-Asclepiadoideae) besitzen weltweit ca. 3000 Arten in 180 Gattungen. Mehrere Gattungsgruppen werden am Lehrstuhl für Pflanzensystematik (Prof. S. Liede) bearbeitet, darunter die stammsukkulente Stapelieen (=Aasblumen), ein zumeist fliegenbestäubter Verwandtschaftskreis von 400 Arten in der Tribus Ceropegieae. Hier finden sich mannshohe kaktoiden und bedornen Pflanzen ebenso wie fingerförmig-blattlose Kriechgewächse. Neben der Emission typischer Aas- und Ekelgerüche sind sie blütenmorphologisch und bestäubungsbiologisch charakterisiert durch komplexe florale Strukturen mit vielgestaltigen Nebenkronenbildungen und zu Pollenpaketen (Pollinien) verklebten Pollenkörnern. Letztere werden mit Hilfe eines komplizierten Klemmmechanismus übertragen - eine Datenbank (ASCLEPOL), die alle bekannten Bestäuberbeobachtungen enthält, wird auf unserer Uni-Homepage angeboten.

Als Entstehungszentrum der Stapelieen konnte der ostafrikanische Raum identifiziert werden, von

dem ausgehend Indien und Arabien und das restliche, semi-aride Afrika erobert wurden. Ein phylogenetisches System ließ sich jedoch aufgrund vermuteter Parallelentwicklungen allein aufgrund morphologischer Kriterien nicht ableiten. Erst seit der Sequenzierung einzelner Kern- und Chloroplasten-DNA-Abschnitte an unserem Lehrstuhl wurde es möglich, die Phylogenie innerhalb der ca. 30 Stapelieen-Gattungen zu erhellen. Es zeigte sich, daß alle Taxa genetisch sehr eng miteinander verwandt sind. Es müssen diverse Hybridisierungen, auch über die Gattungsgrenzen hinweg, stattgefunden haben, die ganz erheblich

zur heutigen Formen- und Artenvielfalt beigetragen haben. Die geringe genetische Divergenz belegt zudem, daß große Teile des Formenkreises sehr jung sein müssen. Die große blütenmorphologische Diversität muß einer extrem schnell abgelaufenen Evolution



tion zugeschrieben werden, die wahrscheinlich durch einen hohen Selektionsdruck durch die Blütenbesucher verursacht wurde. Zukünftig dürfen die oft extremen Unterschiede im Blütenbau deshalb nur mit Vorsicht für die Taxonomie der Stapelieen Verwendung finden. Stattdessen haben sich vegetative Merkmale (z.B. Anzahl der Sproßrippen, Morphologie der Blattrudimente oder Dornen) als weitaus zuverlässigere taxonomische Marker als die Blüten erwiesen.

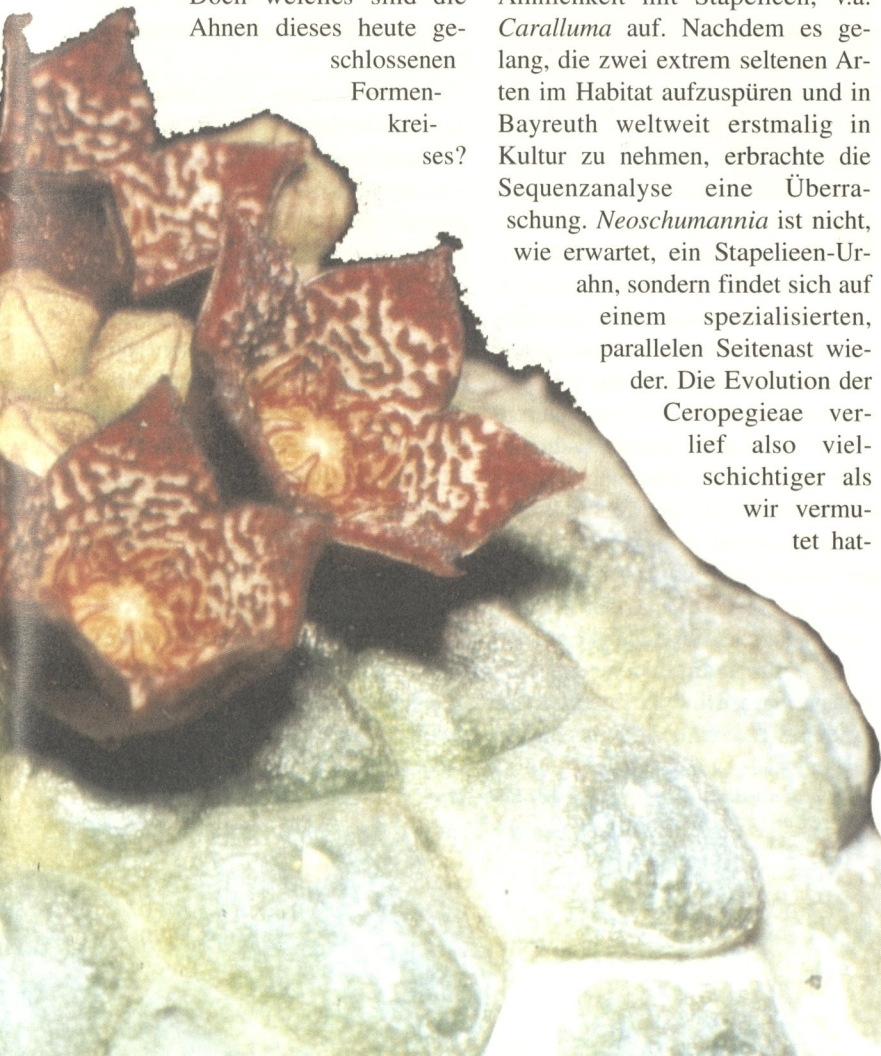
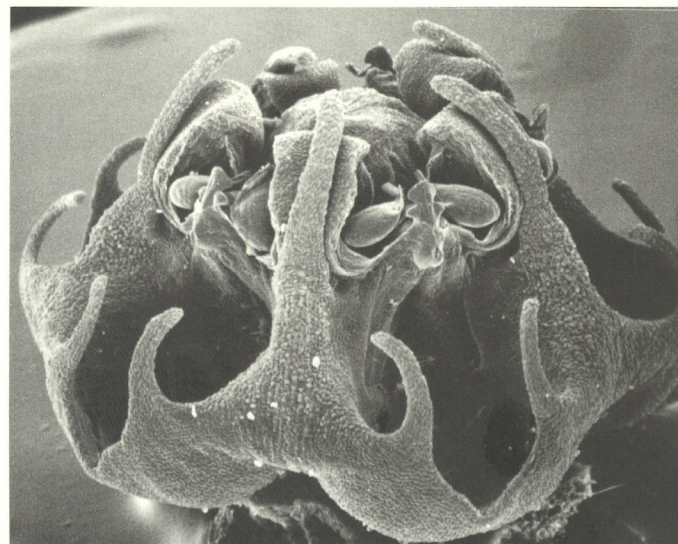
In der von uns erarbeiteten Phylogenie befinden sich die stammsukkulente Aasblumen in einer Abstammungslinie mit *Ceropegia* und *Brachystelma*, zwei krautigen bzw. geophytischen Ceropegieae-Gattungen, die aufgrund aparter Kesselfallen- und Aasblüten die Gewächshäuser der Liebhaber genauso erobert haben wie die Stapelieen. Für alle drei Gruppen ist das südliche Afrika zum (sekundären) Speziations- und Radiationszentrum geworden.

Doch welches sind die Ahnen dieses heute geschlossenen Formenkreises?

Die Suche führte uns nach Westafrika (Mt. Cameroon) und Ostafrika (Usambara, Tanzania) zu den Bergregenwaldrelikten *Neoschummannia kamerunensis* und *N. cardinea*. Diese beiden Lianen weisen bzgl. des Blütenbaus allergrößte Ähnlichkeit mit Stapelieen, v.a. *Caralluma* auf. Nachdem es gelang, die zwei extrem seltenen Arten im Habitat aufzuspüren und in Bayreuth weltweit erstmalig in Kultur zu nehmen, erbrachte die Sequenzanalyse eine Überraschung. *Neoschummannia* ist nicht, wie erwartet, ein Stapelieen-Urahn, sondern findet sich auf einem spezialisierten, parallelen Seitenast wieder. Die Evolution der Ceropegieae verlief also vielschichtiger als wir vermutet hatten.

Die Abspaltung des hochentwickelten Ceropegieae-Astes von den basalen Sippen der Asclepiadoideae ist somit, trotz des Einsatzes molekularer Methoden, weiterhin eines der ungelösten Rätsel der Asclepiadoideen-Forschung. □

ganz oben: *Caralluma lavrani*
oben: *Caralluma edulis* (Nebenkrone im REM)
links: *Larryleachia cactiformis*



http://www.uni-bayreuth.de/departments/planta2/research_wgl/pollina/as_pol_t.html

Literweise Nektar:

Ökophysiologie äthiopischer Schopfbäume

Marianne Lauerer/Reiner Zimmermann



In den Gewächshäusern des Ökologisch-Botanischen Gartens (ÖBG) gedeiht - in verschiedenen Klimabereichen - tropische und subtropische Vegetation. In seiner Art einmalig ist das tropische Hochgebirgshaus. Mit Hilfe aufwendiger Technik gelingt es, die klimatischen Bedingungen des Naturstandorts zu simulieren und die spezifischen Lebensformen dieser tropisch-alpinen Vegetation zu kultivieren. Die Blüte des äthiopischen Schopfbäumchen (Lobelia rhyncho-petalum, Familie Lobeliaceae) - weltweit zum ersten Mal unter Kulturbedingungen - gab Anlaß mikroklimatische und ökophysiologische Messungen an dieser Pflanze durchzuführen.

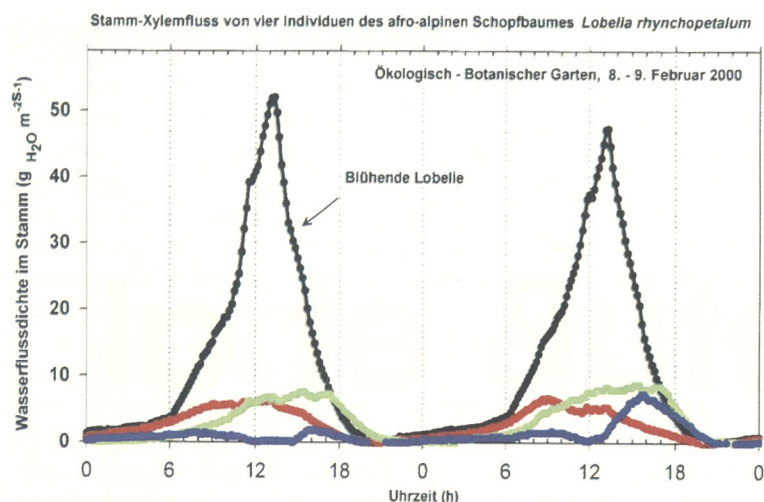
Die alpine Stufe der tropischen Hochgebirge (3500 - 5000 m) ist gekennzeichnet durch extreme Umweltbedingungen. So hat der äthiopische Schopfbaum am Naturstandort ein schweres Los: Fast jede Nacht sinken die Temperaturen unter den Gefrierpunkt, während sich tagsüber die Bodenoberfläche auf über 40 °C erwärmen kann. Ganz so extrem sind die Bedingungen im Hochgebirgshaus des ÖBG nicht, aber ganzjährig ein Zwölfstundentag mit Tagesgängen in der Temperatur und eine zusätzliche Beleuchtung, ermöglichen die Kultur dieser besonderen Pflanzen.

Blick ins tropische Hochgebirgshaus. Im Jahr 1999 kam der erste äthiopische Schopfbaum unter Kulturbedingungen zur Blüte. Der Blütenstand wuchs am Tag bis zu 2,5 cm und wurde insgesamt 3,2 m hoch.

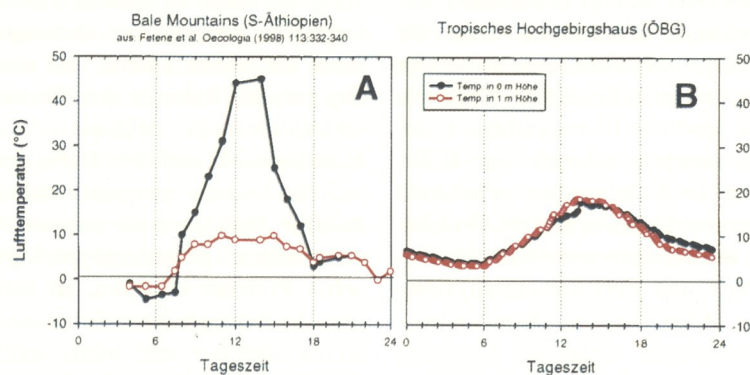
Im Zuge von Forschungsaufenthalten Bayreuther Botaniker wurden 1992 Samen dieses Schopfbäumchen in Südäthiopien geerntet, ausgesät und im Spezialgewächshaus des ÖBG kultiviert. Überraschenderweise kam bereits 1999 die erste Pflanze zur Blüte, was in der freien Natur erst im Alter von 15 oder mehr Jahren geschieht. Die Pflanze stirbt nach der Bildung eines mehrere Meter hohen Fruchtstandes ab. Die „Baumskelette“ jedoch bleiben in der offenen Landschaft der afroalpinen Zone mehrere Jahre stehen und geben ihr das charakteristische Gepräge.

Über Wachstum, Blühinduktion und Blühphänologie, Bestäuber, Nektarproduktion und -zusammensetzung sowie über den „Absterbeprozess“ gibt es nur wenige Untersuchungen. Am Naturstandort sind langfristige ökophysiologische Messungen oft mit erheblichen praktischen Schwierigkeiten verbunden. So sind die unter standardisierten Bedingungen im Gewächshaus kultivierten und blühenden Lobelien zu einem idealen Untersuchungsobjekt geworden.

Die Arbeitsgruppe „Forest Ecology and Remote Sensing“ sowie Wissenschaftler des ÖBG, haben an der blühenden afrikanische Lobelie unter „kontrollierten“ Bedingungen während der gesamten mehr-



Wasserfluß durch den Stamm der blühenden Lobelie (schwarz) sowie nicht blühender Lobelien (blau, grün, rot) im Tagesverlauf. Die Messungen wurden im Hochgebirgshaus des Botanischen Gartens durchgeführt.



Lufttemperatur in °C gemessen in 0 und 1 m Höhe über dem Boden in den Bale Mountains (A) und im Hochgebirgshaus des ÖBG (B).

monatigen Blühzeit eingehende Untersuchungen durchgeführt.

Insbesondere zwei Fragestellungen wurden bei den Messungen an Lobelien im Tropischen Hochgebirgshaus bearbeitet:

1. Der äthiopische Schopfbäumchen hat zur Blütezeit mit seiner Vielzahl nektarreicher Einzelblüten einen hohen Bedarf an Wasser und Kohlenhydraten.

In den vorliegenden Untersuchungen wurde der Wasserverbrauch nicht blühender und blühender Lobelien verglichen.

2. Am Naturstandort zeigen Temperatur und Wasserdampfdruckdefizit der Luft ein Maximum zur Mittagszeit (Fetene et al. Oecologia (1998) 113:332-340). Entsprechend verhält sich die Transpirationsrate (untersucht an nicht

blühenden Lobelien). Wie sieht jedoch der Wasserverbrauch der Lobelien im Tagesgang im Hochgebirgshaus aus, wo die Luftfeuchte im Tagesverlauf relativ konstant bleibt?

Die mehrmonatige Messung des Wasserflusses durch den Stamm von äthiopischen Schopfbäumen zeigte, daß nicht blühende Pflanzen 0,3 bis 0,6 Liter Wasser verdunsten. Die blühende Lobelie dagegen verbrauchte bei etwa gleicher Größe und Blattbiomasse bis zu 3,4 Liter pro Tag. Vergleichende Transpirationmessungen an den Blättern zeigten keinen Unterschied zwischen blühender und nicht blühenden Lobelien. Der erhöhte Wasserverbrauch der blühenden Pflanze kann somit auf den Wasserbedarf der Blüten für die

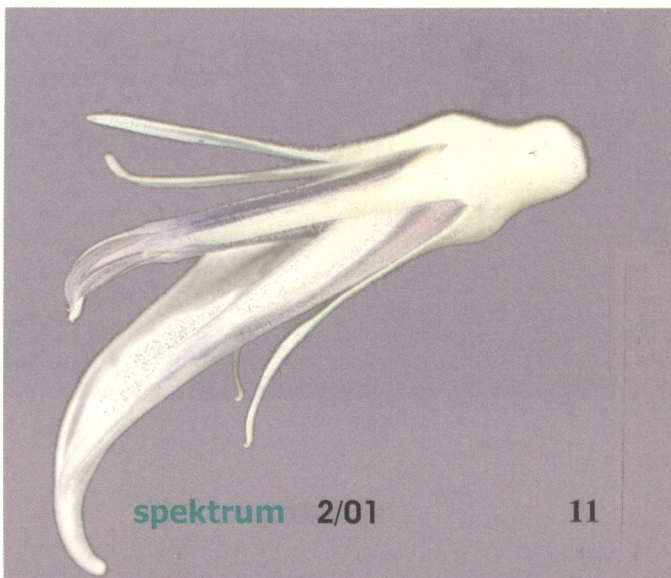
Nektarproduktion zurückgeführt werden. Dies deckt sich auch mit den Messungen der Nektarmenge pro Blüte (1-2 ml), die hochgerechnet etwa 3 Liter Nektar pro Blütenstand ergaben. Im Gewächshaus, wo nektarsaugende Bestäuber fehlten, evtl. sind dies am Naturstandort aufgrund der Zusammensetzung und der Menge an Nektar Vögel, tropfte der Nektar aus den Blüten ab.

Die zeitliche Dynamik des Wassertransportes enthüllte weitere Besonderheiten: Nicht blühende Lobelien zeigten kein einheitliches Muster im Tagesgang. Die blühende Lobelie hingegen hatte ein ausgeprägtes Maximum zur Tagesmitte, relativ unabhängig von mikroklimatischen Faktoren (bereits vor der maximal erreichten Lufttemperatur im Gewächshaus und bei recht konstanter Luftfeuchte).

Ist dies ein Hinweis darauf, daß diese Rhythmik im Wasserverbrauch blühender Lobelien endogen bedingt ist - vielleicht auch ein Hinweis auf Bestäuber, die am Naturstandort zur Mittagszeit aktiv sind?

Sobald weitere äthiopische Schopfbäume im tropischen Hochgebirgshaus blühen, werden diese interessanten Ergebnisse überprüft werden. Vor allem auch die Fähigkeit der Pflanzen, den Wassertransport ohne enge Bindung an die umgebenden mikroklimatischen Bedingungen zu regeln, wird Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. □

Einzelblüte von *Lobelia rhynchopetalum*: Insgesamt trug der Blütenstand etwa 2000 Einzelblüten, jede mit 1-2 ml Nektar zur Anlockung und Versorgung der Bestäuber.

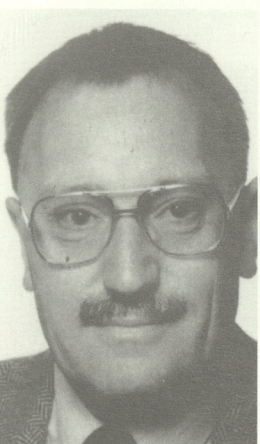


Spinat, Gänsefuß et al.

2001

Erwin Beck

Als der Lehrstuhl Pflanzenphysiologie im Herbst 1975 die Arbeit aufnahm (der Lehrstuhlinhaber hielt die erste Vorlesungsstunde der neugegründeten Universität Bayreuth), war das Jahrhundert der Biowissenschaften gerade so richtig in Schwung gekommen. Neue Techniken, wie z.B. das Arbeiten mit radioaktiven Isotopen, automatisierte Chromatographie und Polarographie hatten Laborreife erreicht und die Photosyntheseforschung stand noch in ihrem Zenit. Die fünf Mitarbeiter, die den Lehrstuhlinhaber von München nach Bayreuth begleiteten, arbeiteten allesamt an Themen zur Photosynthese. Einige ihrer Ergebnisse haben in die Lehrbücher der Pflanzenphysiologie Eingang gefunden, wie z.B. die Entdeckung der chloroplastischen Ascorbatperoxidase, des Schlüsselenzyms der pflanzlichen Entgiftungsreaktionen, die Lichtsteuerung der Schrittmacherenzyme des photosynthetischen Kohlenstoffzyklus und die Arbeiten über den photosynthetischen Stärkestoffwechsel.



Prof. Dr. Erwin Beck,
Lehrstuhl für Pflanzenphysiologie

Damals arbeitete die Photosynthesewelt mit nur einer Versuchspflanze, dem Spinat, und da die Universität Bayreuth noch nicht über Gewächshäuser verfügte, wurde ein Vertrag mit der Gefängnisgärtnerei über die wöchentliche Lieferung dieses Edelgemüses abgeschlossen. „Spinach was grown in the local jail...“ hieß es dann in den Veröffentlichungen und Vorträgen. Im Zuge dieser ersten Periode der Bayreuther Pflanzenphysiologie wurden auch die Wallenfelscher Photosynthese-Rundgespräche ins Leben gerufen, die heuer zum 18. Male stattfinden und sich national wie international großen Zuspruchs erfreuen.

Was ist von dieser Zeit geblieben? Viel oder wenig, je nachdem, aus welchem Blickwinkel man die heutige wissenschaftliche Arbeit am Lehrstuhl betrachtet. Nach wie vor spielt die Photosynthese in vielen unseren Arbeiten eine Rolle, aber die Ziele sind weiter gesteckt worden: Stoffwechsel als Grundlage des Pflanzenwachstums, Wachstums- und Entwicklungsphysiologie haben die reine Stoffwechselphysiologie abgelöst. Steuerung des Pflanzenwachstums durch Umweltfaktoren, Übersetzung von äußeren in innere Signale stehen nun im Vordergrund. Fragen, die molekularbiologische und ökologische Forschung in einen Zusammenhang bringen, die aber auch Grundlagenforschung mit angewandter Forschung verbinden.

Und das ist gut so. Denn die Forschungslandschaft hat sich besonders an den Universitäten total verändert, die Hinwendung zu den drängenden Fragen unserer Zeit ist zwingend und wird durch die Drittmittelgeber auch nachdrücklich unterstützt. War es ursprünglich ökophysiologische Grundlagenforschung über pflanzliche Stresssituationen, die den Lehrstuhl Pflanzenphysiologie in die tropischen Hochgebirge trieb, so geht es heute um tropische Bergwälder, ihre (Über)Nutzung durch die Menschen (Abb. 1), um Fragen der Wiederbewaldung aufgegebenen

Flächen und um nachhaltige Nutzung. Arbeiten zu diesem Thema begannen Anfang der neunziger Jahre am Mount Kenya, und werden nun im Rahmen von Ökosystemstudien in Äthiopien und Ecuador weitergeführt. Dabei hat sich die Anzucht geeigneter einheimischer Holzarten als unerwartet schwieriges pflanzenphysiologisches Problem erwiesen, da man über die Biologie dieser Arten noch nichts oder nur sehr wenig weiß. Seit über 20 Jahren ist der Lehrstuhl durch zahlreiche, vor allem im ostafrikanischen und südamerikanischen Raum laufende Projekte international vernetzt.

Stress durch Umweltfaktoren wie Trockenheit und Kälte, kann man aber nicht nur im tropischen Hochgebirge studieren, sondern auch im Bayreuther Laboratorium. Viele tropische Nutzpflanzen könnten bessere Erträge liefern, wenn sie gegen diese Stressoren besser gefeit wären. Hier bieten Versuche zur genetischen Transformation aussichtsreiche Perspektiven. Selbstverständlich kann man eine entsprechende Transformation nicht im Rahmen einer Diplomarbeit machen, aber in einer ganzen Arbeitsgruppe (Dr. Sebastian Fetting) lässt sich da schon etwas erreichen. Weizen, Kichererbsen und Gerste sind die Zielpflanzen, aus denen Gene isoliert, bzw. in die Gene übertragen werden (Abb.2).

Molekularbiologische Arbeitstechniken sind aber auch aus den übrigen Projekten des Lehrstuhls heute nicht mehr wegzudenken, seien es die nun stark ausgeweiteten Studien zum Stärkestoffwechsel (Dr. Paul Ziegler) oder die Arbeiten über das Ergrünen der Pflanzen, wenn sie zum ersten Mal ans Licht kommen (Dr. Christiane Reinbothe). Haben Sie sich, liebe Leserin, lieber Leser, schon mal gefragt, wie das Grün ins Blatt kommt, warum Pflanzen ergrünen, wenn sie Licht sehen? Moderne spektroskopische sowie molekularbiologische Techniken erlauben es heute, die ursprüngliche Frage nach dem „warum?“ in die Frage zu erweitern, wie etwas geschieht, wie die molekularen Prozesse ablaufen, wie die Molekülmaschinen arbeiten. Nur wenn man dies einigermaßen weiß, kann man verantwortungsbewusst ans Manipulieren herangehen.

Blätter ergrünen nicht nur, sondern sie vergilben auch, im Alter oder

bei übermäßigem Stress. (Abb. 3) Den Bayreuther Biowissenschaftlern ist es vor sechs Jahren gelungen, eine von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Forschergruppe über „Alterungsprozesse“ ins Leben zu rufen. In der Mehrzahl arbeiten hier Pflanzenwissenschaftler zusammen, aber auch die Organische Chemie, Biochemie und Mikrobiologie tragen zu diesen Arbeiten bei oder waren im Laufe der 6 Jahre Mitglieder der Forschergruppe.

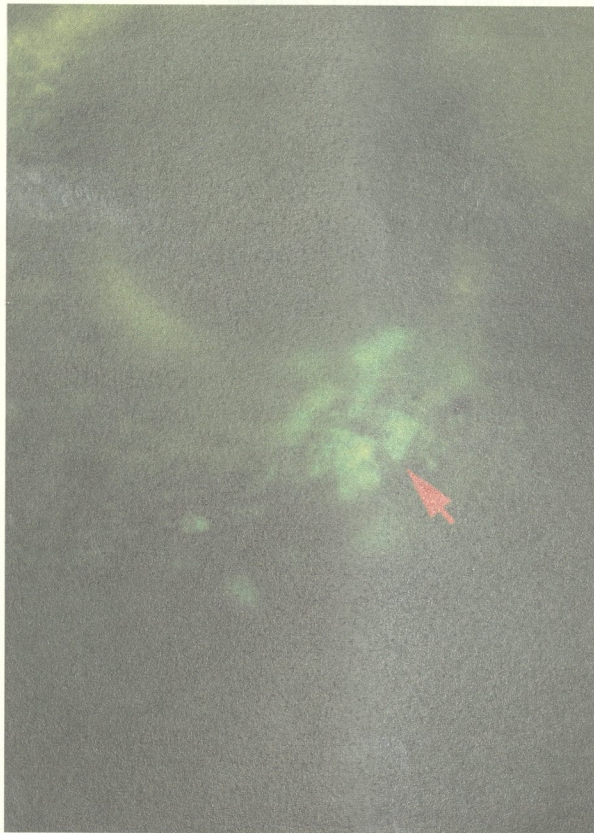
Die meisten Pflanzen zeigen zweierlei Typen von Alterungsprozessen: „Absichtliches“, biochemisch gesteuertes Altern, wie z.B. das herbstliche Altern der Blätter unserer Laubbäume und unvermeidliches, nicht gesteuertes Altern (auch ein Baum stirbt einmal aus Altersschwäche). Beide Formen des Alterns können von der Umwelt beschleunigt oder verzögert werden. Der Schwerpunkt der Arbeiten in der Forschergruppe liegt beim „ungewollten“ Altern, wie es auch für

Mensch und Tier zutrifft. Zum einen spielt hier der sog. „oxidative Stress“ eine wichtige Rolle, der dadurch entsteht, dass bestimmte Stoffwechselprozesse im Alter nicht mehr so genau kontrolliert ablaufen, wie in einem jugendlichen Organismus und dadurch vermehrt aggressive Stoffe, sog. Radikale entstehen, die den Organismus schädigen. Hinzu kommt, dass das körpereigene Entgiftungssystem für derartige Radikale (bei Pflanzen z.B. die o.g. Ascorbatperoxidase) im Alter an Leistungstärke verliert und dadurch Schäden in einem Ausmaß entstehen, das nicht mehr repariert werden kann.

Pflanzen helfen sich gewöhnlich dadurch, dass geschädigte Organe, z.B. Blätter abgeworfen und neue gebildet werden. Da die Fähigkeit zum „Nachwachsen“ aber im Alter nachlässt, sind dieser Art der Entgiftung Grenzen gesetzt. Mehrere Fragestellungen zum „unfreiwilligen“ Altern der Pflanzen werden am Lehrstuhl für Pflanzenphysio-

Abbildung 1: Zusammenbruch einer Zypressen-(*Cupressus lusitanica*) Aufforstung in der Bergwaldzone des Mt. Kenya (Ostafrika).





logie untersucht: Warum lässt die Fähigkeit zum „Nachwachsen“ neuer Organe im Alter nach und warum vergilben alte Blätter?

Wachsen, das heißt Zellteilung und Zellteilungsforschung ist heute ein eigenes Wissensgebiet der Molekularbiologie, auf dem gerade beim menschlichen und tierischen Organismus gewaltige Fortschritte gemacht werden. Die Pflanzenwissenschaften laufen da ein bisschen hinterher, aber allmählich ziehen sie nach. Wir gehen der Frage nach, welche die Zellteilung steuernden inneren und äußeren Faktoren im Alter nicht mehr ausreichend gebildet werden und ob es bestimmte Inhibitoren gibt, die bei ungünstigen Umweltbedingungen (z.B. Mangel an Nährstoffen) die Zellteilung unterbinden. Für diese Forschungen verwenden wir als Modellsystem grüne Pflanzenzellen des roten Gänsefusses (*Chenopodium rubrum*), sog. Zellkulturen,

mit denen sich viel leichter experimentieren lässt, als mit ganzen Pflanzen.

Es versteht sich von selbst, dass diese Forschungen in der Lehre ihren Niederschlag finden, nicht nur in den diversen Praktika und Seminaren, sondern auch in Vorlesungen und in der Auswahl der eingeladenen Kolloquiumssprecher. Auf diese Weise zeigt die Bayreuther Pflanzenphysiologie „Profil“ und ihre Brückenstellung zwischen Molekularbiologie und Ökologie.

Die Gelegenheit, unsere Forschung und Lehre der Öffentlichkeit vorstellen zu können, möchte ich schließlich auch dazu benützen, mich bei meinen vielen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die fruchtbare Zusammenarbeit herzlich zu bedanken. Einige von ihnen sind nun selbst Professoren, die meisten jedoch sind in die Industrie gegangen. Dem Vernehmen nach sollen sie mit dem, was sie in der Bayreuther Pflanzenphysiologie gelernt haben, nicht schlecht gefahren sein...□

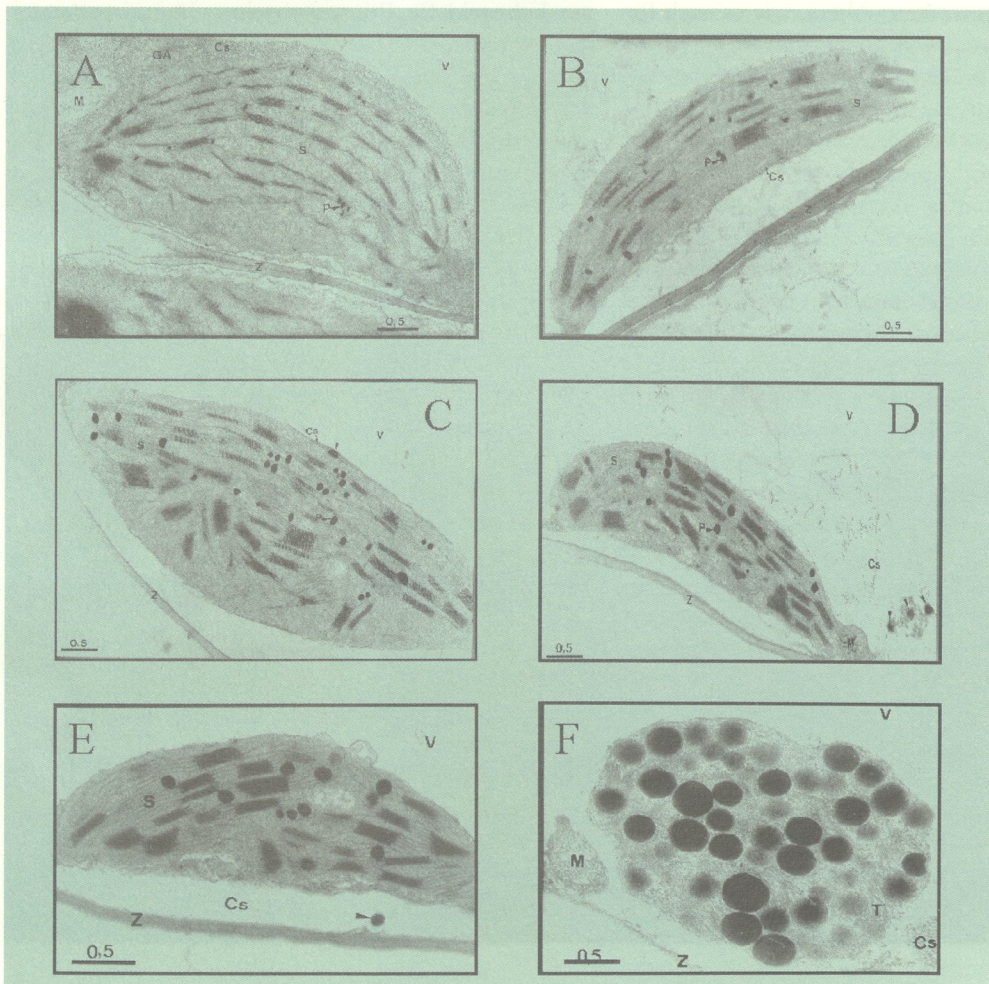
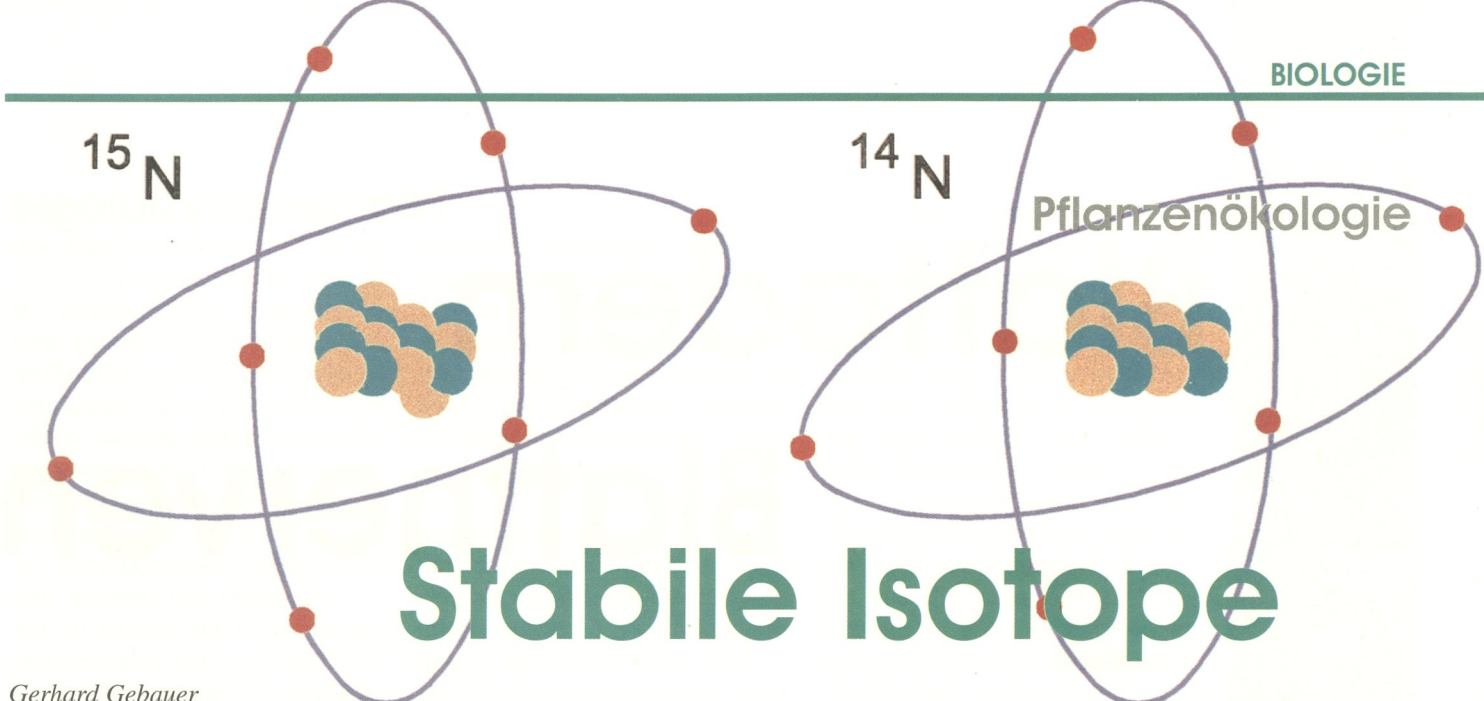


Abbildung 2, oben: Expression (Pfeil) des grün fluoreszierenden Proteins (GFP) aus der Tiefseequalle *Aequorea victoria* in Zellen eines unreifen Weizenembryos nach Behandlung mit *Agrobacterium tumefaciens*.

Abbildung 3, unten: Seneszenz-bedingte Änderungen in der Chloroplastenultrastruktur Chloroplasten stammen aus Gerstenprimärblättern 1 (A), 3 (B), 4 (C), 6 (D), 7 (E) und 8-Wochen (F)- alter Gerstenpflanzen. Der Balken im unteren Bildteil symbolisiert 0,5 Mikrometer. Die Symbole bedeuten: Cs: Cytosol, G: Granathylakoide, GA: Golgi-Apparat, IM: Innere Hüllmembran, OM: Äussere Hüllmembran, M: Mitochondrium, P: Plastoglobuli, Ps: Plasmalemma, T: Thylakoide, V: Vakuole, Z: Zellwand, Pfeilspitze: markierte Plastoglobuli



Gerhard Gebauer

Viele chemische Elemente - und so auch die für biologische Fragestellungen besonders interessanten Elemente Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel, Sauerstoff und Wasserstoff - kommen in der Natur in Form mehrerer Isotope vor, die stabil oder instabil (d.h. radioaktiv) sein können. Während schon lange radioaktive Isotope bei biologischen Laborexperimenten als Tracer eingesetzt werden, gewinnen in letzter Zeit die stabilen Isotope zunehmend Interesse bei ökologischen Fragestellungen. Die Häufigkeit stabiler Isotope in Naturstoffen kann mit Hilfe von Isotopen-Massenspektrometrie mit sehr hoher Genauigkeit bestimmt werden.

Unter den für Pflanzen essenziellen Elementen ist der Stickstoff nach dem Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff der quantitativ wichtigste Nährstoff. Aufgrund seiner geringen Verfügbarkeit im Boden stellt der Stickstoff gleichzeitig in vielen naturnahen Ökosystemen den am meisten limitierenden Faktor für das Pflanzenwachstum dar. Viele Pflanzen mit Verbreitungsschwerpunkt an natürlicherweise stickstoffarmen Standorten haben verschiedenartige Spezialisierungsmechanismen entwickelt, um sich zusätzlich zum Mineralstickstoff des Bodens weitere Stickstoffquellen zu erschließen. Leguminosen nutzen

über ihre Symbiose mit N_2 fixierenden Bakterien das immense Reservoir des chemisch sehr inerten Luftstickstoffs und sind damit in der Lage, als Pioniere neue Standorte zu besiedeln. Insektenfangende Pflanzen nutzen den hohen Stickstoffgehalt ihrer Beutetiere zur Deckung des eigenen Bedarfs und verschaffen sich auf diesem Weg Konkurrenzvorteile auf extrem nährstoffarmen Hochmoorstandorten. Pilze schließlich geben an den Boden proteolytische Enzyme ab und erschließen sich in Waldböden langsam abbaubare organische Stickstofffraktionen.

All dieser Spezialisierungsmechanismen sind im Prinzip seit langem bekannt. Über ihren quantitativen Nutzen wußte man lange Zeit allerdings sehr wenig. Die Herkunft des einmal in Pflanzen inkorporierten Stickstoffs läßt sich nämlich mit herkömmlichen Methoden nicht mehr rekonstruieren. Genau an dieser Stelle eröffnet die Isotopenhäufigkeitsanalyse neue Perspektiven. Luftstickstoff, „Insekten“-Stickstoff und organische Stickstofffraktionen des Bodens unterscheiden sich in ihrer Isotopenhäufigkeit vom Mineralstickstoff. Das Isotopensignal dieser alternativen Stickstoffquellen bleibt in den Pflanzen oder Pilzen konserviert. Aus Isotopenhäufigkeitsanalysen wissen wir heute, daß Acacien aus den Savannen Afrikas ihren Stickstoffbedarf

zu etwa 30 % aus der symbionischen Luftstickstofffixierung decken, daß bis zu 80 % des Stickstoffs in carnivoren Pflanzen auf den Tequis in Venezuela aus dem Insektenfang stammen, oder daß die meisten unserer einheimischen Waldpilze sich vorwiegend organische Stickstoffquellen erschließen, die den höheren Pflanzen nicht direkt zugänglich sind.

Über die genannten Anwendungsbeispiele aus der pflanzenökologischen Grundlagenforschung hinaus hat sich die Häufigkeitsanalyse stabiler Isotope inzwischen auch als wichtiger Bestandteil der angewandten Umweltforschung etabliert. Hierzu leisteten die Arbeiten am Lehrstuhl für Pflanzenökologie zur Quantifizierung der oberirdischen Aufnahme von Stickstoff- und Schwefelverbindungen aus der atmosphärischen Deposition durch Waldbäume oder zur Verfrachtung von Nitrat aus Waldökosystemen ins Grundwasser ebenfalls wesentliche Beiträge. Derzeit werden am Lehrstuhl für Pflanzenökologie neue Anwendungsbereiche der Häufigkeitsanalyse stabiler Isotope in Forschungsprojekten zur Kohlenstoff- und Stickstoffsenskenfunktion der Waldbodenvegetation und zur Herkunftszuordnung der Emission des klimarelevanten Spurengases N_2O (Lachgas) erschlossen. Diese Projekte werden aus Forschungsmitteln der EU gefördert. □



Privatdozent
Dr. Gerhard Gebauer

Blattadern

Blattnerven

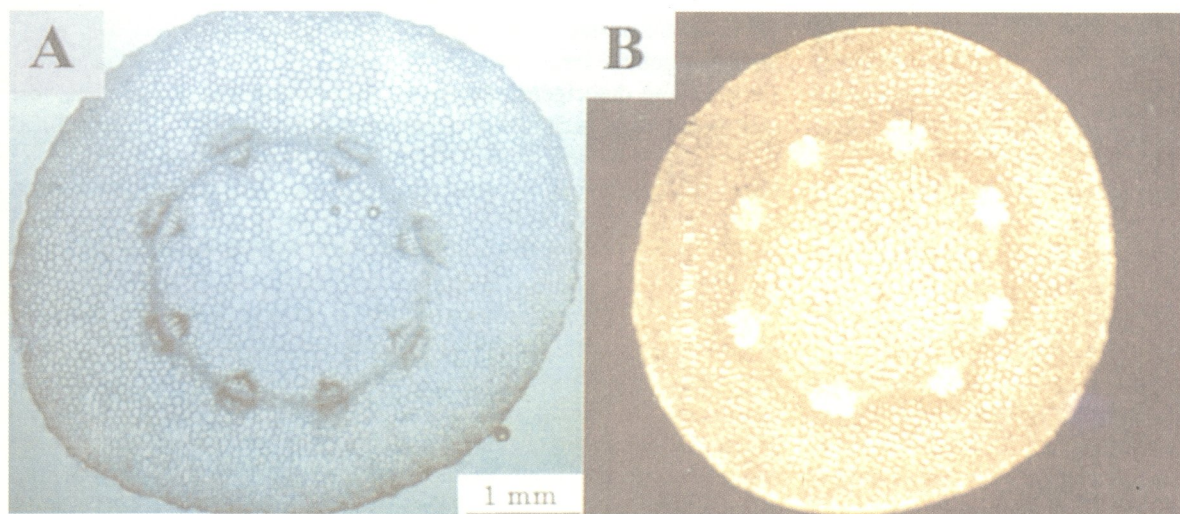
Ewald Komor

Pflanzen bilden die Lebensgrundlage für das Leben von Tieren, Pilzen und selbst den meisten Bakterien, weil sie allein es schaffen ausschließlich von anorganischen Substanzen zu leben, in-

Boden aufnehmen, also keine „Erde fressen“, eine Erkenntnis, die von naturphilosophischer Seite seinerzeit heftig angegriffen wurde (und angeblich in der „Bioszene“ heute noch). Pflanzen leben also

Ausmaßen wachsen, wenn er gar nicht grün ist, also offensichtlich keine Photosynthese macht und auch nicht im Boden steckt, um Mineralien und Wasser aufzunehmen? Photosynthese findet aus-

Die Bildfolge zeigt den Querschnitt des Stengels eines Keimlings. A: als geschnittene Scheibe unter dem Lichtmikroskop, B: als in vivo-Abbildung im Kernspin, C: die Verteilung von Saccharose, abgebildet mittels Kernspin, D: die Orte von Wasserflüssen, ermittelt durch Kernspin.

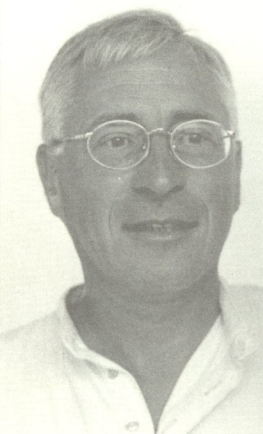


dem sie diese in organische, d.h. für den Körper verwertbare Substanzen umwandeln. In dieser Eigenschaft sind Pflanzen einzigartig, zusammen mit einigen wenigen Bakterien. In der Geschichte der Pflanzenforschung dauerte es auch sehr lange, nämlich bis ins 17. Jahrhundert, bis man erkannte, dass Pflanzen tatsächlich „von der Luft leben“. Der Nachweis der Photosynthese gelang erst Anfang des 19. Jahrhunderts. Und es dauerte ebenfalls bis ins 19. Jahrhundert, dass man eindeutig nachwies, dass Pflanzen Nährstoffe ausschließlich in gelöster Form aus dem

von Photosynthese und Mineralstoffaufnahme.

Ist damit das Problem für die Pflanzen gelöst? Noch nicht! Wie eine etwas genauere Blick sofort offenbart, sind es nur ganz bestimmte Pflanzenteile und -orte, an denen diese lebensnotwendigen Prozesse stattfinden, während an anderen Orten der Verbrauch der gewonnenen, organischen Stoffe geschieht. Warum füllt sich die Ähre eines Weizenhalms mit stärke-reichen Körnern, obwohl nicht die Ähre sondern die Blätter Photosynthese machen? Und wie kann ein Kürbis zu diesen unverzehrbaren

schließlich in den grünen Blättern der Pflanze statt, genau genommen nur in den grünen Zellen der Blätter, und noch genauer gesagt ausschließlich in den Chlorophyll-haltigen, subzellulären Teilchen innerhalb der grünen Zellen, den Chloroplasten. Wenn nur in den Chloroplasten Photosynthese stattfindet, aber die produzierten, organischen Stoffe in der gesamten Pflanze benötigt werden, angefangen von den Bereichen der grünen Zellen ausserhalb der Chloroplasten bis zu den nicht-grünen Geweben der Blätter und der großen Masse der pflanzlichen Gewebe ohne Chloro-



Prof. Dr. Ewald Komor, Lehrstuhl für Pflanzenphysiologie

phyll (z.B. im Stamminneren, in den Knospen, Blüten und in der Wurzel), dann muß es ein effizientes Transport- und Verteilungssystem geben, das die gewonnenen Stoffe zu all jenen Stellen geleitet, wo sie gebraucht werden. Gleiches gilt für die Mineralstoffe, denn diese werden ausschließlich von der Wurzel aus dem Boden aufgenommen, gebraucht werden sie aber vor allem in den wachsenden Blättern, Sprossen und Früchten.

Als zu Beginn der Evolution der Pflanzen diese noch sehr klein waren, halfen einfache physikalische Prozesse, wie Diffusion, eine ausreichende Stoffverteilung zu erzielen. Mit dem Größerwerden der Pflanzen und mit der Eroberung der Landoberfläche wurde die Ausbildung von auf Verteilung spezia-

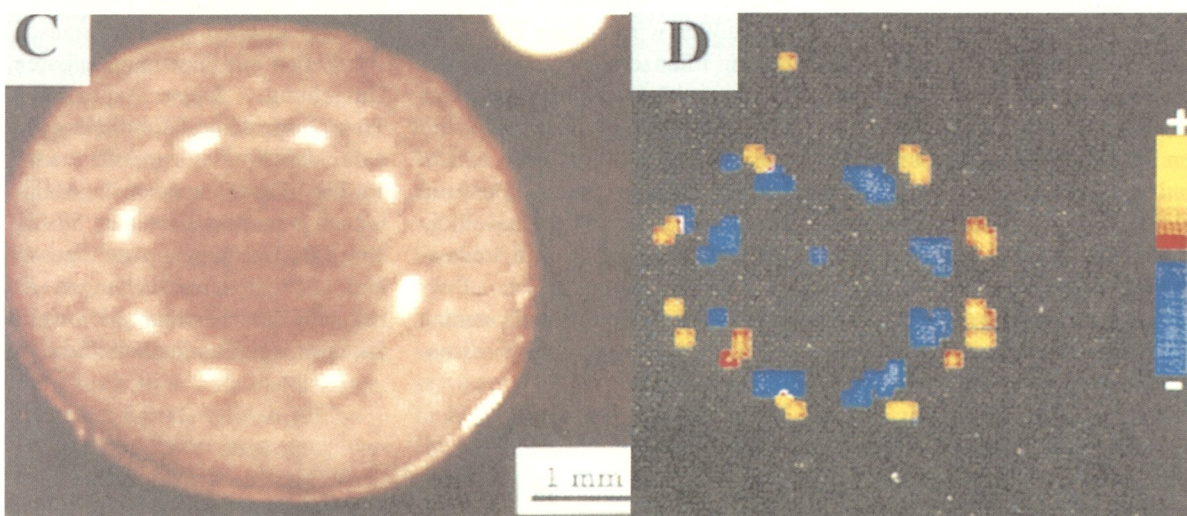
bar.

Besonders kompliziert sind jene Zellen gebaut, die zu Röhren vereinigt die organischen Stoffe leiten. Es handelt sich um lebende Zellen, die die photosynthetisch erzeugten Stoffe (die sogenannten Assimilate) unter Aufwendung von Stoffwechselenergie und elektrischer Spannung anreichern, dadurch einen Wassereinstrom verursachen und einen Druck aufbauen, welcher zu einem Druckfluss des Zellinhalts mitsamt den gelösten Assimilaten entlang der Röhre führt.

Die Mechanismen und die Steuerung dieses sogenannten aktiven Transports stehen im Mittelpunkt der Forschung unserer Arbeitsgruppe. Eiweißmoleküle, die in die Zellhülle eingebaut für den aktiven Transport von organischen Sub-

Kommunikation dienen.

Dieses Forschungsgebiet hat in den letzten Jahren besondere Aufmerksamkeit gefunden, weil es, wenn auch im kleinen Maßstab, ein funktionelles Äquivalent zu dem Nerven- und Adernsystem der Höherentiere darstellt. Diese funktionelle Ähnlichkeit geht bis zu Krankheitserregung, denn auch die pflanzlichen Leitbahnen sind bevorzugter Verbreitungsweg für Viren und Bakterien, die durch bestimmte an den Leitbündeln saugende Insekten (z.B. Blattläuse) in die Pflanzen gelangen und somit infizieren. Forschung an den Leitbahnen der Pflanzen umfasst daher ein weites Feld, von der Messung von Flüssen und Stoffkonzentrationen bis zu Pflanzenkrankheit und Alterung. Je nach Fragestellung



Die Bilder B - D wurden am unversehrten Keimling aufgenommen. In den Bildern

A - C erkennt man die acht, im Kreis angelegten Leitbündel, in C sieht man, daß besonders der äußere Teil der Leitbündel reich an Saccharose ist (der helle Fleck rechts oben ist eine mit Saccharose gefüllte Glaskapillare). Die Leitbündel sind die Orte der Wasserflüsse, und zwar im äußeren Bereich (gelb) nach unten, im inneren Bereich (blau) nach oben.

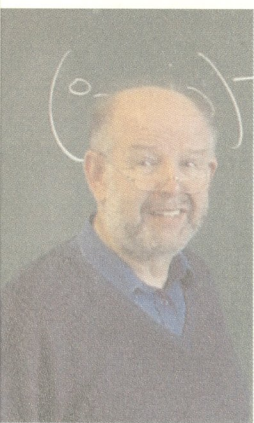
lisierten Geweben unabdingbare Voraussetzung für das Überleben. Die pflanzlichen Verteilungsgewebe sind zusammengefasst zu sogenannten Leitbündeln, die in den Blättern als Blattadern (oder -nerven) erkennbar sind, im Spross als Fasern auftauchen (und z.B. beim Essen von schlecht geschältem Spargel stören) und in der Wurzel als zentraler, zäher Strang enden (der das Jäten von mancherlei Unkraut erschwert). Die Hauptbündel kann man schon mit dem bloßen Auge erkennen, die Verzweigungen bis in die feinsten Verästelungen sind nur mikroskopisch sicht-

stanzen und den Einstrom des Wassers verantwortlich sind, werden mit Hilfe gentechnischer Methoden isoliert und identifiziert. Der Druckfluss in der intakten Pflanze wird mit Kernspin-Mikroskopie gemessen (eine Methode ähnlich der Kernspin-Tomografie in der Medizin). Die Inhaltsstoffe in den Assimilat-leitenden Zellen werden mittels Mikrokapillaren gesammelt und analysiert. Neben dem Transport von Assimilaten dient das Leitbündelsystem auch dem Transport von Eiweißen und Nukleinsäuren, die wahrscheinlich als Signalstoffe zur innerpflanzlichen

werden verschiedene Pflanzenarten für Experimente herangezogen, für die Assimilatleitung vor allem Ricinus, für Speicherung Zuckerrohr, und für gentechnische Experimente Tabak und Arabidopsis. (In der Posterausstellung im Botanischen Garten sind konkrete Beispiele der Forschungsarbeiten ausgestellt.) Kommunikation zwischen verschiedenen Pflanzenteilen ist zwar weniger aufregend als die vergleichbare Forschung im Tierreich, aber einen Vorteil haben Experimente an Pflanzen verglichen mit Tieren: Pflanzen beißen nicht. □

Der Wasserhaushalt von Pflanzen

Ernst Steudle



Prof. Dr. Ernst Steudle, Lehrstuhl für Pflanzenökologie

Eine ausreichende Wasserversorgung ist für das Wachstum und die Entwicklung von Organismen essentiell. Obwohl Pflanzen mit der Ressource Wasser sparsam umgehen, werden für die Erzeugung von 1 kg Biomasse doch zwischen 50 und 800 Liter Wasser benötigt. Im Pflanzenkörper werden die Wasserflüsse auf den verschiedenen Ebenen reguliert. Hierbei spielen physikalische (physiologische) und metabolische Prozesse eine wichtige Rolle, die in der Arbeitsgruppe im Detail untersucht werden. Mechanismen der Regulation stehen im Vordergrund. Auf der Zellebene liegt der Schwerpunkt

bei der molekularen Physiologie von Wasserkanälen, denen bei der Regulation des Wasserhaushaltes eine wichtige Rolle zugeschrieben wird (Abb. 1). Auf der Organebene ist die Wasseraufnahme in die Wurzel von besonderem Interesse. Schließlich wird auf der Ebene der ganzen Pflanze untersucht, wie der Langstreckentransport gesteuert wird. In der Arbeitsgruppe sind verschiedene Sonden und andere Techniken entwickelt worden, um auf den verschiedenen Ebenen die Wasserflüsse und die sie treibenden Kräfte zu erfassen. „Bayreuther Druckmesssonden“ werden seit einiger Zeit auch an Interessen-

ten von außerhalb verkauft. Die Arbeiten sind von Bedeutung für die Züchtung von Pflanzensorten, die mit geringeren Wassermengen auskommen.

Auf der Zell-/Membranebene vermitteln Wasserkanäle (Aquaporine) den raschen Wasseraustausch von Zellen mit ihrer unmittelbaren Umgebung. Diese speziellen Transportproteine (Abb. 1) sorgen dafür, dass Wasser um einen Faktor 10^6 bis 10^7 rascher durch die Membranen permeiert als andere Stoffe, wie z.B. Nährionen. Aus eigenen und anderen Untersuchungen ist bekannt, dass bestimmte Umweltfaktoren wie Trockenheit, Tempe-

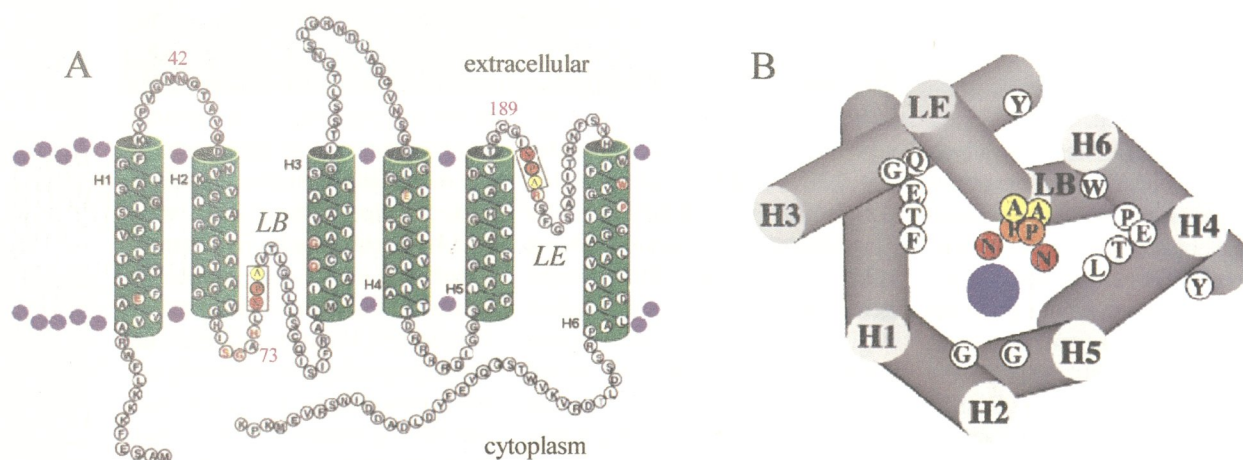


Abb. 1: Polypeptidsequenz eines Wasserkanals (Aquaporin AQPI) mit einem Molekulargewicht von ca. 30 kDa (A). Sechs Helices durchspannen die Membran und bilden die Pore mit einem Durchmesser von 0,2 bis 0,4 nm, die einen Single-file-Transport von Wasser erlaubt. Angegeben ist der Cysteinrest (Cys189), der die Quecksilberabhängigkeit bewirkt, und das NPA-Motiv, dem die selektiven Eigenschaften zugeschrieben werden. (B) Anordnung der Helices im Aquaporin-Tetramer. (Aufsicht auf die Membran) In jedem Monomer bilden die Schleifen B und E (LE & LB in Abb. 1 A) je einen Wasserkanal, dessen Position in (B) durch den blauen Kreis angedeutet ist.

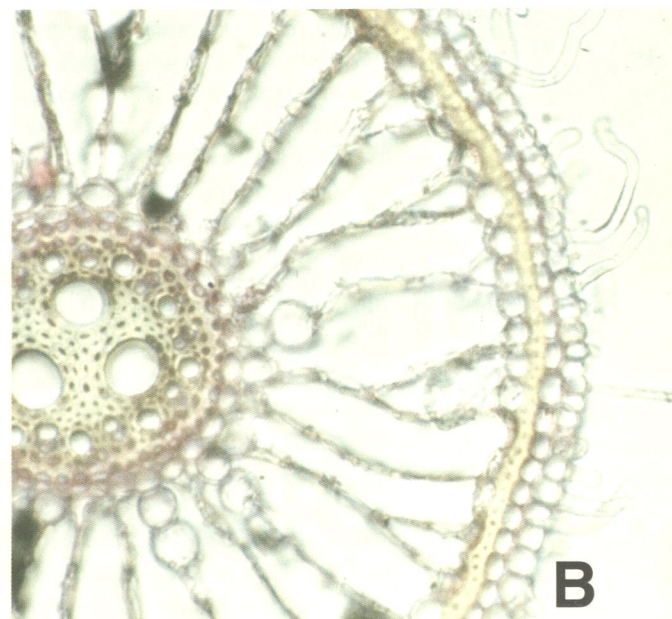
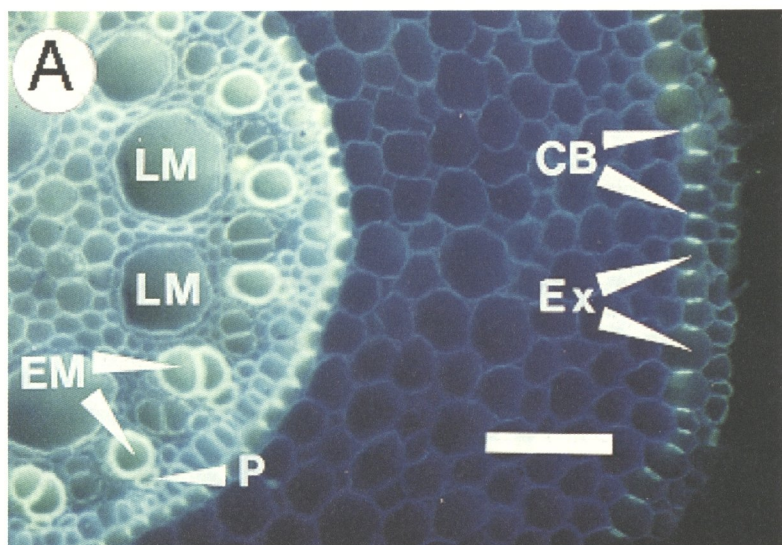


Abb. 2: (A) Querschnitte durch eine junge Mais- (A) und eine Reiswurzel (B). In der Maiswurzel erkennt man die entwickelte Endo- und Exodermis (Endodermis mit asymmetrisch verdickten Wänden) sowie das voll entwickelte Protoxylem (P) und frühes (EM) sowie die Casparischen Streifen (CB) in der Exo- und Endodermis. Das späte Metaxylem (LM) ist noch nicht voll entwickelt (Fluoreszenzfärbung mit Berberinsulfat/Anilinblau; Maßstab: 100 μ m). Die Reiswurzel (B) zeigt ein voll entwickeltes Belüftungsgewebe (Aerenchym) sowie ein sklerenchymatisches Gewebe unterhalb der Exodermis. Die Unterschiede in der Anatomie bewirken, dass die Wasseraufnahme beim Reis stark eingeschränkt ist, so dass es selbst beim Sumpfreis zu einer Unterversorgung des Sprosses mit Wasser kommen kann (Färbung: Sudan 7B).

ratur, Salinität, oxidativer Stress, Nährstoffmangel oder Schwermetallionen zu einem Verschluss der Kanäle und zu Problemen in der Wasserversorgung führen. Wie sich dies im einzelnen vollzieht, wird untersucht, wobei mithilfe der Bayreuther Technologien Wasserflüsse bis herunter zur molekularen Ebene der Kanäle erfasst werden. Oft ist die Wasserversorgung der begrenzende Faktor beim Anbau von Kulturpflanzen. In den nächsten Jahrzehnten wird sich weltweit das für die landwirtschaftliche Produktion verfügbare Wasser deutlich verknappen. Besonders in ariden Gebieten werden Defizite ausgeglichen werden müssen. Es besteht daher ein erheblicher Bedarf an Pflanzensorten, die trotz bestehender Wasserdefizite doch noch befriedigende Ernteerträge liefern. Beim Mais und Reis untersuchen wir in Zusammenarbeit mit Züchtern die Wasseraufnahme in die Wurzel und deren Regulation durch Trockenheit, Temperatur, Salinität und Nährstoffangebot. Die

hydraulische Leitfähigkeit der Wurzel wird mithilfe von Wurzeldruckmesssonden ermittelt. Parallel dazu wird auf der Ebene von Einzelzellen die Leitfähigkeit der Membranen untersucht. Dies führt dann zu einem genauen, quantitativen Bild der Regulation der Wasserversorgung der Pflanze.

In Südostasien spielt der Reis als Hauptnahrungsmittel die entscheidende Rolle. Zur Zeit wird auf 45% der Fläche Sumpfreis ohne zusätzliche Bewässerung angebaut. Bei zunehmenden Bevölkerungszahlen besteht ein erheblicher Druck, die Anbauflächen auszuweiten, d.h. den Anteil an Bergreis zu erhöhen, bei dem eine Wasserzufuhr durch Regen oder durch künstliche Bewässerung notwendig ist. Bergreisarten müssen in der Lage sein, auch bei Trockenstress Wasser aus dem Boden aufzunehmen. Beim Reis ist die Wasseraufnahme durch den besonderen Bau der Wurzel begrenzt (Abb. 2B). Neben den Aquaporinen spielen auch Anpassungen in der Wur-

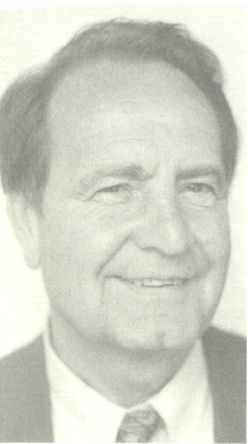
zelanatomie und Pflanzenernährung an die Umweltbedingungen eine wichtige Rolle.

Der Langstreckentransport des Wassers ist erheblich. An einem Sommertag werden Wassermengen „umgesetzt“, die ein Vielfaches der gesamten Laubmasse einer Pflanze ausmachen. Hohe Umsätze erfordern ein effizientes Gefäßsystem, das die Verbindung zwischen Wurzel und Spross herstellt. Die Gefäße transpirierender Pflanzen sind hohen Spannungen oder negativen Drücken ausgesetzt. Damit ist die Gefahr von Kavitationen (Gasembolien) gegeben, die zu einer vollkommenen oder teilweisen Unterbrechung der Wasserversorgung führen. Der „Kohäsionsmechanismus der Wasserleitung“ hat also erhebliche praktische Bedeutung. Er wird zur Zeit kontrovers diskutiert.

Die Ergebnisse werden dazu verwandt, physiologische/physikalische Modelle des Wasserhaushaltes für die verschiedenen Ebenen zu entwickeln, die auch die Rolle verschiedener Stressfaktoren und Wechselwirkungen mit dem Nährstoffhaushalt mit einschließen. □

Perspektiven der Biologiedidaktik

Siegfried Klautke



Prof. Dr. Siegfried Klautke, Lehrstuhl für Didaktik der Biologie

Der Lehrstuhl Didaktik der Biologie ist im Jahre 1975 an der damaligen Erziehungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Erlangen / Nürnberg eingerichtet worden. Er wurde dann im Zuge des Überleitungsverfahrens in die Universität Bayreuth übergeführt und ist im Jahre 1980 zur Fachgruppe Biologie auf das Campus-Gelände gezogen. In dem dortigen Neubau im Gebäude Naturwissenschaften I waren entsprechende Lehr- und Forschungsräume installiert worden, so dass sich eine empirisch sowie naturwissenschaftlich orientierte Biologiedidaktik entwickeln konnte. Dementsprechend haben sich im Laufe der Jahre vier wesentliche Schwerpunkte biologiedidaktischer Forschung etabliert, in der inhaltliche und didaktische Konzepte mit Prinzipien der Lehr-/Lernforschung verbunden sind. Im wesentlichen wurde dies in den Bereichen Experimentalunterricht, Modelle und Modellbildung, Umwelterziehung einschließlich Fragen der ökologisch-ethischen Bildung sowie Fächerübergreifender Unterricht umgesetzt.

Experimentalunterricht

Bezüglich des biologischen Experimentalunterrichts wurden in zahlreichen Einzelprojekten aus Teilgebieten der Biologie wissenschaftstheoretische und didaktische Grundlagen des Experimentierens im Biologieunterricht erarbeitet. Dabei stand die Entwicklung exemplarischer Experimente mit unterrichtspraktischer Erprobung im Mittelpunkt empirischer Arbeiten. Vor allem in den experimentell orientierten Teilbereichen wie Physiologie, Ökologie oder Verhaltensbiologie ist die empirische Erarbeitung der Sachverhalte von hoher erkenntnistheoretischer Wertigkeit. Hier steht in letzter Zeit die Verhaltensbiologie besonders im Vordergrund, weil es gewichtige Umbrüche in den Methoden und der Interpretation der Phänomene gab, wobei die Erklärung von tierlichem Verhalten auf empirisch-experimenteller Grundlage hohe Priorität hat. Dazu soll ein Lehr-Lernkonzept/Curriculum für Studium und Schule aus experimentellen Modulen entwickelt und erprobt werden. Die praktische Evaluation der Effektivität des Experimentie-

rens für das Lernen im Biologieunterricht, bezogen auf Wissen, Behaltensleistungen, Interesse und Einstellungen liefert dazu wichtige Kriterien für die Anwendung.

Als weitere Perspektive ist die Etablierung eines computergestützten Experimentalunterrichts anzusehen, wobei auch fächerübergreifende Bezüge zu den anderen naturwissenschaftlichen Fächern einbezogen werden sollen.

Modelle und Modellbildung:

Es gilt generell als wichtige Aufgabe des biologischen Unterrichts, komplizierte Sachverhalte auf ihre wesentlichen Aussagen zu verdichten. Dabei kommt der Entwicklung und Konstruktion von Modellen zur Veranschaulichung und Durchdringung biologischer Lerninhalte besondere Bedeutung zu. So wurden z.B. Modelle zu Vorgängen des Elektronentransports an den Membranen der Chloroplasten und Mitochondrien entwickelt und ihre unterrichtliche Lernwirksamkeit untersucht.

Ergänzt wird der Prozess der Modellbildung durch mathematische Modelle, um über Computersimu-

lation Phänomene wie „Symbiose“ oder „Räuber / Beute - Interaktionen“ bezüglich ihrer Lerneffizienz in der Kollegstufe zu überprüfen. Erhöhter Wert wurde auf den Wissenszuwachs und auf den Erwerb von Problemlösungsstrategien gelegt (letztere sind in der TIMS-Studie besonders angemahnt worden!).

Umwelterziehung/-bildung

Umweltschutz, Naturschutz, Umweltbildung sind Teilaspekte, die dem ökologischen Schwerpunkt der Bayreuther Biologie in hohem Maße entsprechen. Im Bereich der Umwelterziehung wird dem authentischen und situativen Lernen an außerschulischen Lernorten besonderes Gewicht beigemessen. In diesem Zusammenhang bietet die Kooperation mit dem Umwelt-

schutzinformationszentrum Lindenhof des Landesbundes für Vogelschutz (mit dem im Jahre 1996 ein Nutzungsvertrag abgeschlossen wurde) ein entsprechendes Forschungsfeld zur empirischen Erfassung von lernwirksamen Eindrücken und Erfahrungen, die der Sensibilisierung für den Natur- und Umweltschutz dienen können.

Hierzu wird versucht, durch eine statistische Überprüfung die Bedeutung verschiedener Naturzugänge (z.B. problemorientierter, spielerischer, geleiteter oder ungelenkter Zugang) für den Einfluss auf Interesse, Wissen, Einstellung zur Natur und letztendlich zu wertorientiertem Handeln zu erfassen. Es bietet sich außerdem an, Naturerfahrungen durch originale Naturbegegnungen der virtuellen Erfas-

sung von Natur und Umwelt gegenüberzustellen, um beider Wertigkeit bzw. Ergänzungsfunktion für ein besseres Naturverstehen auszuloten. Für diese Forschungen wurde ein sog. Naturerlebnisbereich konzipiert, in dem naturnahe Kleinbiotope (u. a. Weiher, Bach, Hecke, Wald, Wildbienenstand) angelegt wurden, damit Lerngruppen die entsprechenden originalen Naturerfahrungen gezielt sammeln können; die virtuellen Eindrücke werden per Computersimulation oder -programm gewonnen.

Auch für Nutzung des im Gebäudeteil des Lindenhofs eingerichteten Kindermuseums und des Naturkundemuseums werden nach biologiedidaktischen Kriterien Arbeitsmaterialien entwickelt und mit Lerngruppen auf ihre Lernwirksamkeit hin erprobt. □

Untersuchungen am Weiher





Die Zwergmaus - *Micromys minutus* - unser Objekt für verhaltensbiologische Untersuchungen..

Als Vertiefung dieser ökologisch orientierten Untersuchungen wurde ein Projekt zur ökologisch ethischen Bildung etabliert. Hierbei wird im Zusammenwirken von Biologiedidaktik und Allgemeiner Pädagogik auf der Grundlage wertorientierter Reflektion versucht, bildungstheoretische Ansätze und Positionen der ökologischen Ethik und der naturwissenschaftlichen Ökologie zusammenzuführen. Es geht dabei vor allem um die ethischen Begründungen menschlichen Handelns gegenüber der Natur. Als Ziel dieses Projekts zur Klärung des Verhältnisses und der Beziehungen von Ökologie und Ethik unter naturwissenschaftlichen und philosophisch-ethischen Gesichtspunkten, sollen Grundlagen einer Theorie der ökologisch-ethischen Bildung des Menschen ausgearbeitet werden.

Fächerübergreifendes Lernen

Der fächerübergreifende Unterricht gewinnt immer mehr an Bedeutung, da sich die komplexen fachlichen Bezüge von Themen wie Wasser, Energie, Boden, Luft

Beobachtungen an der Wildbienenwand



u.ä. nur durch das Zusammenwirken der beteiligten Fachgebiete (z. B. Biologie, Chemie, Physik, aber auch Mathematik, Geographie, Sozialkunde) erschließen und verstehen lassen. Bezüglich der dabei ablaufenden oder notwendigen Lernprozesse ist am Lehrstuhl ein Grundkonzept erarbeitet worden, in dem die o.g. Phänomene fachlich analysiert und durch das Aufdecken fächerverbindender Beziehungen und Wechselbezüge in differenzierte Ganzheiten überführt werden. Somit wird „vernetztes Denken“ initiiert, das fächerübergreifende Strukturen einbezieht und durch Denken in Zusammenhängen komplexe Sachverhalte besser verstehen lässt.

Zentrum Naturwissenschaften

Die im Hochschulentwicklungsplan 2000 / 2004 der Universität Bayreuth ausgewiesene Schwerpunkt Einrichtung „Zentrum zur Förderung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“ bezieht sich insbesondere auf den eben angesprochenen fächerübergreifenden Unterricht (mit Ein-

schluss der Technik und Informatik sowie benachbarter Fachdisziplinen wie Pädagogik und Psychologie). Weitere Schwerpunktbereiche wie Multimedia-Kompetenz, aber auch Fort- und Weiterbildung, sowie universitäre fachdidaktische Nachwuchsförderung in den MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik) und nicht zuletzt die Förderung der Mädchen in den Naturwissenschaftlichen Fächern sind jedoch inbegriffen.

Aus einer solchen Kooperation der Einzelfächer sind wesentliche Forschungsarbeiten und Lösungsansätze zur Förderung des naturwissenschaftlichen Unterricht zu erwarten. Die Bündelung der Kräfte der Einzelfächer zum Auslösen von Synergieeffekten in den o.g. Schwerpunktbereichen lässt deshalb auch eine Intensivierung der wissenschaftlichen Nachwuchsschulung erwarten. So können vor allem die Schnittstellen zwischen den Einzelfächern einbezogen und gemeinsame Prinzipien sowie Methoden der beteiligten Fächer reflektiert bzw. umgesetzt werden.

Fazit

Die in den Forschungsbereichen der Biologiedidaktik erzielten Ergebnisse fließen jeweils in die Lehrtätigkeit an der Universität ein, wodurch für die Lehre entsprechende Impulse und wertvolle Innovationen resultieren dürften, die wiederum der Ausbildung der Bayreuther Lehramtsstudierenden aber auch der Fort- und Weiterbildung von Lehrkräften in der Region zu gute kommen. So kann sich Forschung und Lehre gegenseitig ergänzen und somit eine tragfähige Grundlage dafür bilden, dass über das Studium hinaus lebenslanges Lernen ermöglicht und legitimiert wird. □

Evolution: Divergenz - Konvergenz

Robert Lücking

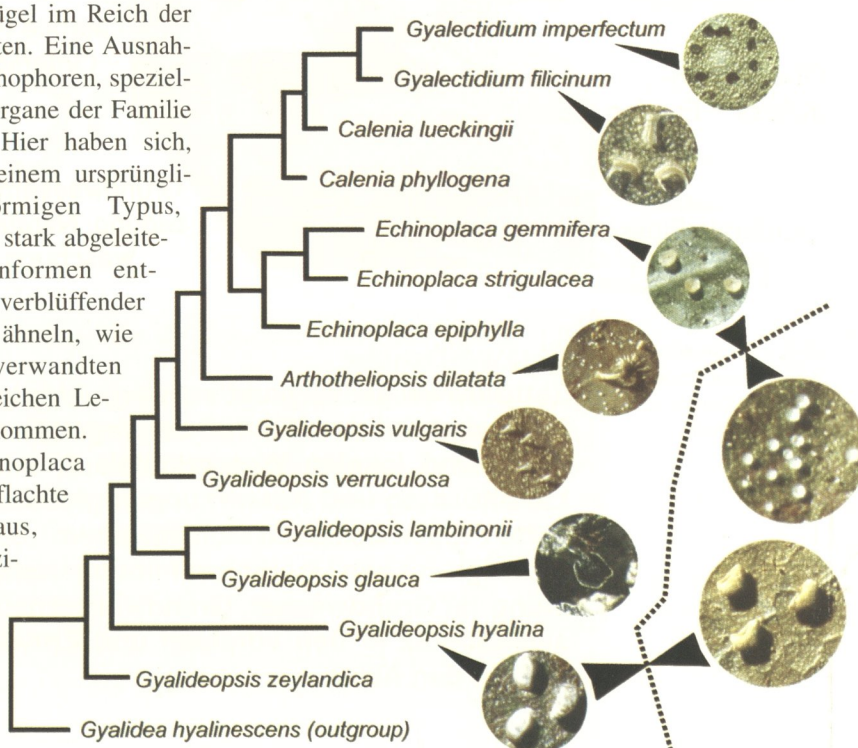
Nach klassischen Vorstellungen erfolgt die Evolution einer Organismengruppe in drei Schritten: Anagenese, Kladogenese und Stasigenese. Unter Anagenese versteht man die evolutive Herausbildung eines neuen Merkmalskomplexes, beispielsweise des Vogelflügels. Durch Aufspaltung und Radiation kommt es zur Kladogenese. Der zunächst einheitliche Merkmalskomplex divergiert und bildet unterschiedliche Typen aus, die teils gegen vorhandene Formen konvergieren. So haben sich die Vogelflügel bei den Pinguinen zu Gliedmaßen weiterentwickelt, die in ihrer Funktion den Flossen der Fische entsprechen. Evolutive Divergenz eines Merkmalskomplexes bedeutet also gleichzeitig auch Konvergenz hin zu anderen Organismen. Schließlich stabilisiert sich die Gruppe, und durch Aussterben einzelner Zweige kommt es zur Stasigenese. Flechten sind ein interessantes Objekt für die Evolutionsforschung, da es sich um eine hochentwickelte Symbiose zwischen Pilzen und Algen bzw. Zyanobakterien handelt. Diese läßt sich mit unserer Tier- und Pflanzenhaltung vergleichen: der Pilzpartner vereinnahmt und „züchtet“ Algenzellen und macht sich deren Photosyntheseprodukte zunutze. Vereinfacht gesagt stellt die Flechtensymbiose eine spezielle Form der Ernährung bei Pilzen dar, ebenso wie andere Pilze saprophytisch von totem or-

ganischem Material, parasitisch in Pflanzen oder als Mykorrhiza in Symbiose mit Gefäßpflanzen leben. Systematisch gesehen bezieht sich der Name der Flechte daher auf den Flechtenpilz (den Mykobionten), der entsprechend im System der Pilze eingeordnet wird, während die Alge (der Fotobiont) ihren Platz im System der Algen oder Zyanobakterien findet.

Mit Hilfe der Phylogenie können Theorien zur Evolution bestimmter Merkmalskomplexe überprüft werden, auch wenn die angewandten kladistischen Methoden evolutive Prozesse nur vereinfacht wiedergeben. Leider gibt es solch eindeutig anagenetische Merkmalskomplexe wie den Vogelflügel im Reich der Flechten nur selten. Eine Ausnahme sind die Hyphophoren, spezielle Vermehrungsorgane der Familie Gomphillaceae. Hier haben sich, ausgehend von einem ursprünglichen borstenförmigen Typus, durch Divergenz stark abgeleitete Hyphophorenformen entwickelt, die in verblüffender Weise Organen ähneln, wie sie bei nichtverwandten Flechten des gleichen Lebensraumes vorkommen. So bildet *Echinoplaca gemmifera* abgeflachte Hyphophoren, welche den speziell an das Leben auf Blättern angepaßten scheiben-

förmigen Ausbreitungseinheiten anderer Flechten entsprechen. Ähnliches gilt für die schuppenförmigen Hyphophoren von *Gyalideopsis hyalina*. Die Gomphillaceen, die mit mehr als 250 Arten hauptsächlich in den Tropen verbreitet sind, stellen daher ein ideales Modell für die Evolution von Merkmalskomplexen bei Pilzen und Flechten dar. □

Das Phylogramm ausgewählter Arten der Flechtenfamilie Gomphillaceae zeigt die Variationsbreite des Merkmalskomplexes der Hyphophoren selbst bei nahe verwandten Sippen der gleichen Gattung. Rechts im Vergleich dazu die konvergent entstandenen Kampylidien der Gattung *Calopadia* (Ectolechiaceae) und die scheibenförmigen Isidien der Gattung *Phyllophiala* (Trichotheliaceae).



Ökosystemare Prozesse

Eva Falge, Markus Reichstein

Ökosystemfunktionen betreffen natur-, sozial- und wirtschaftswissenschaftliche Aspekte und fordern zu interdisziplinärer Betrachtungsweise heraus. Projekte in der Pflanzenökologie fokussieren daher auf Modellentwicklung, räumlich-zeitlicher Skalierung ökologischer Prozesse und Modellparameter, Assimilierung von Fernerkundungsdaten und der Entwicklung von Validierungsmethoden für mesoskalige Anwendungen. Dr. Eva Falge und Dr. Markus Reichstein sind wissenschaftliche Assistenten am Lehrstuhl für Pflanzenökologie der Universität Bayreuth und beschäftigen sich mit Modellierung von CO₂-Senken und Regulation des Wasserkreislaufs auf Landschaftsebene.

Pflanzen als Regulatoren des Wasserkreislaufs auf Landschaftsebene

Die derzeitigen Klimaänderungen bedeuten nicht nur eine Erhöhung der atmosphärischen CO₂-Konzentration und der Lufttemperaturen, sondern auch eine veränderte Niederschlagsverteilung und erhöhte Verdunstungsraten, was zu einem Wandel des Wasserkreislaufs führt. Ein tiefes Verständnis der komplexen und nicht-linearen Wechsel-

wirkungen zwischen Atmosphäre, Vegetation und Boden ist notwendig, um Vorhersagen zukünftiger Entwicklungen zu machen und sinnvolle Handlungsalternativen aufzuzeigen. Während im Labor und in kleinen (m² bis Hektar) Untersuchungsflächen Experimente in relativ großer Zahl durchführbar sind, stößt man auf Landschafts- und erst recht auf globaler Ebene schnell an die Grenzen der Möglichkeiten. Unter diesen Bedingungen können Simulationsmodelle sehr hilfreich sein, verschiedene Szenarien zu analysieren und Risiken abzuschätzen, auch wenn man keine exakten Prognosen erwarten sollte. Ein solches Simulationsmodell soll z.B. im Rahmen des GLOWA-Danube Projekts entwickelt und auf das Einzugsgebiet der oberen Donau angewendet werden. Modellkonzept ist dabei die Aufteilung der Landoberfläche in Unter-einheiten (Abb.1), in denen Prozesse (z.B. des Wasserkreislaufs) ablaufen und zwischen denen Wechselwirkungen stattfinden können.

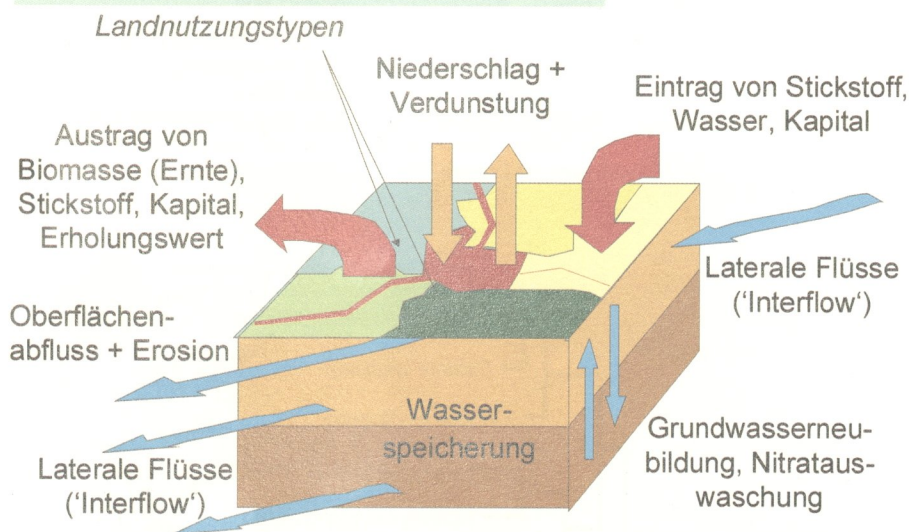


Abb. 1 Modell-sicht auf ein Prozeß-Pixel als Element einer Landschaft

GLOWA-Danube

(<http://www.gsf.de/ptukf/schwerpunkte/glowa>)

fokussiert auf dem Einfluß der Vegetation auf atmosphärische Zirkulation, regionalen und lokalen Wasserkreislauf, und die Rückkopplung zwischen lokaler Landnutzung und Auswirkungen globaler Klimaänderungen. Anwendungsorientierte Fragen befassen sich mit einem „optimalen“ Landnutzungsmosaik auf dem Hintergrund von Überschwemmungsrisiko, Trinkwasserverfügbarkeit, Nitratbelastung im Grundwasser, Grundwasserneubildung, Nahrungsproduktion und Erosionsschutz in den Voralpen und Entwicklung der Waldgrenze (Schneesicherheit) in den Alpen.

Ökosysteme als potentielle Senke für CO₂

In der Natur wird atmosphärisches CO₂, nach Wasserdampf das wichtigste Treibhausgas, durch chemische Reaktionen, biologische und geologische Prozesse gebildet. Diese Prozesse sind überlagert von anthropogenen CO₂-Emissionen, die über eine Verstärkung des Treibhauseffekts zur global zu beobachtenden Klimaerwärmung führen. Daher werden Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität und zur Reduzierung des Ausstoßes an Treibhausgasen immer wichtiger. Langfristig wirksame Maßnahmen zu entwickeln, ist jedoch nur möglich, wenn die Dynamik des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs, des Treibhauseffekts sowie der ihn verstärkenden Faktoren besser verstanden werden. So stieg z.B. die CO₂-Konzentration in der

Atmosphäre in den letzten 40 Jahren nicht im selben Maße an wie die anthropogenen Emissionen, was auf ein oder mehrere (unbekannte) Senken für CO₂ hinweist. Neben den Ozeanen gelten die Wälder der Nordhemisphäre als potentieller Kandidat für diese Senke, und werden gezielt in Großprojekten (CarboEurope, AmeriFlux, FLUXNET) untersucht. Ob diese unerwartete Senke für CO₂ "nachhaltig" ist, d.h. auch in Zukunft die Auswirkungen anthropogener Emissionen bremsen wird, ist dabei eine der offenen Fragen. Um eine wirkungsvolle Klimastrategie zu entwickeln, benötigen Politiker jedoch neben Fakten über die tatsächliche CO₂-Bindungskraft von Ökosystemen weitere Informationen, wie sich Klimaänderungen auf Ökosysteme, Wirtschaft, Handel und sozioöko-

CARBOEUROPE

(<http://www.bgc-jena.mpg.de/public/carboeur>)

untersucht innerhalb des 5. Rahmenprogramms der Europäischen Union die Regulation von Kohlenstoff-, Stickstoff- und Wasserbilanzen von Ökosystemen anhand von Datensätzen aus ganz Europa. Anwendungsgebiete finden sich in der Umweltproblematik, dem Test von Vegetations- und Klima-Modellen und der Entwicklung neuer Methoden, Forschungsergebnisse zu ökosystemaren Kohlenstoffbilanzen bestmöglich im Ressourcenmanagement zu nutzen.

nomische Bedingungen auswirken, und wie diese Auswirkungen wieder mit der Klimaentwicklung rückgekoppelt sind. □

Mikrobiologie

Koordination Signale Regulation

Diethelm Kleiner

Die Bedeutung von biologischen Regulationsvorgängen in allen Arten von Lebewesen ist nicht neu, sondern war in solchen Bereichen wie Differenzierung, Alterung, Anpassung schon immer offenkundig. Aber auch ohne solche äußerlich gut erkennbaren Veränderungen sind Regulationsprozesse grundsätzlich mit allen, auch den einfachsten Lebensäußerungen verbunden.

Das soll hier am Beispiel der einfachsten Lebewesen, der Bakterien illustriert werden. Bakteriengenome enthalten je nach Variabilität der Umgebung 1000 bis 8000 Gene. Nehmen wir als Beispiel ein durchschnittliches Bodenbakterium mit einem ca. 5000 Gene umfassenden Genom. Davon sind bei konstanten Umweltbedingungen ca. 1000 Gene angeschaltet und werden abgelesen, d.h. ihre Infor-

mation wird zum größten Teil in spezifische Enzyme umgesetzt. Ein Teil dieser Enzyme dient dem Import und dem Abbau von Nahrungsstoffen zu Zwischenprodukten, die von weiteren Enzymen zu den verschiedensten Blockbausteinen (z.B. Aminosäuren, Fettsäuren, Zuckern) umgewandelt werden. Schließlich werden diese Bausteine - wiederum durch Enzyme - zu komplexen Makromolekülen (Nu-

kleinsäuren, Proteine, Polysaccharide, Lipide) zusammengefügt, die über 90% der Biomasse ausmachen.

Nun sind Bakterien zumeist nicht "kompartimentiert", d.h. sie haben keine abgetrennten Räume, in denen unterschiedliche Reaktionssequenzen des Stoffwechsels stattfinden. Deshalb spielen sich die erwähnten, von 1000 Enzymen katalysierten Umsetzungen von etwa 1000 chemischen Verbindungen in einem einzigen Raum ab: jedes Enzym findet seine Substrate in dem Gewimmel von Molekülen und setzt sie mit optimaler Geschwindigkeit um. Optimal heißt: genau so viel, wie gebraucht wird. Diese Koordination des Stoffwechsels ist nur möglich durch Austausch von präzisen Signalen: jedes Gen muss genaue Informationen erhalten, wie viele Enzymmoleküle pro Zeiteinheit zu synthetisieren sind, und jedes Enzymmolekül muss genaue Informationen erhalten, wie

viele Substratmoleküle pro Zeiteinheit umgesetzt werden müssen. Diese Koordinationsleistung muss noch weiter gesteigert werden, wenn sich die Umweltbedingungen ändern, und das ist im Boden eher die Regel als die Ausnahme. Bakterien haben aufgrund ihrer winzigen Abmessungen eine vergleichsweise große Oberfläche. Damit können sie einerseits relativ viel Nahrung in kurzer Zeit aufnehmen und umsetzen (d.h. schnell wachsen), sind aber andererseits ihrer Umwelt in hohem Maße ausgeliefert. Änderung der Umwelt wird unter zwei Gesichtspunkten wahrgenommen:

[1]Die Umwelt wird bedrohlich
(sauer, heiß, trocken, giftig).

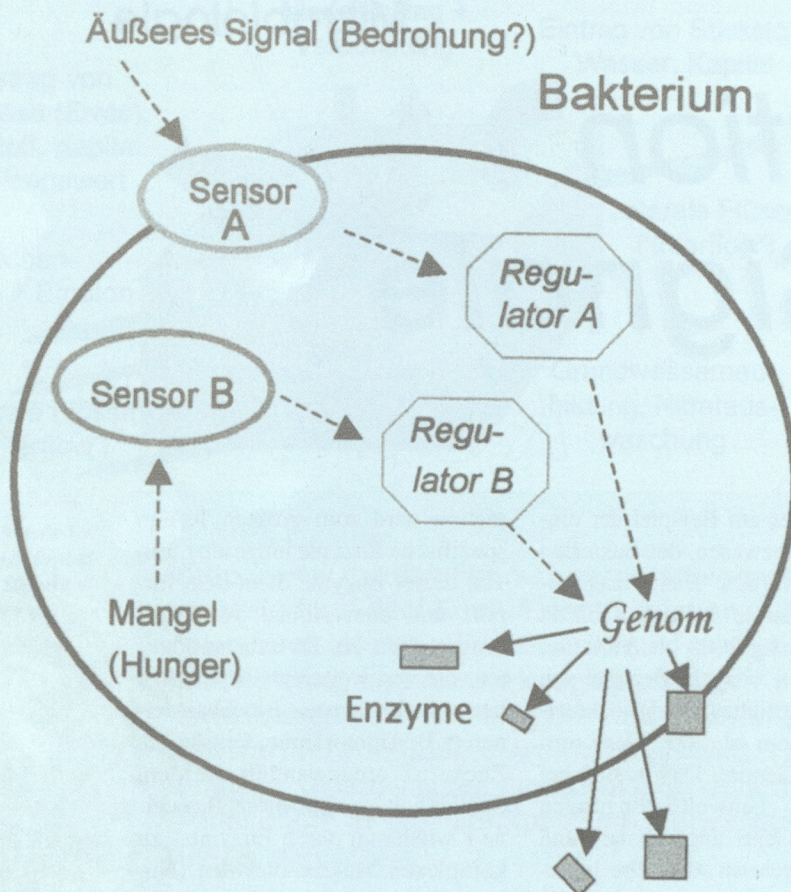
[2]Ein essentielles Element wird knapp: die Zelle hat Hunger auf dieses Element (z.B. Stickstoff, Kohlenstoff, Phosphor).

In beiden Fällen wird die Zelle im Wachstum beeinträchtigt. Um weiterhin optimal zu wachsen (und

sich zu vermehren), muss die Zelle herausfinden, was sich geändert hat und ihren Stoffwechsel so weit wie möglich den neuen Bedingungen anpassen.

Die Änderungen werden als Signale durch spezifische Empfängerproteine (Sensoren) registriert und müssen dann in eindeutiger Weise an das Genom übertragen werden, was wiederum zu Änderungen in der Synthese von Enzymen führt, so dass die Zelle den neuen Herausforderungen gewachsen ist. Es werden z.B. durch ausgeschiedene Enzyme neue Nahrungsquellen erschlossen und aufgenommen, Gifte aus der Zelle gepumpt, spezielle Substanzen zum Schutz gegen Austrocknung gebildet etc. Unsere Arbeitsgruppe befasst sich insbesondere mit dem Bereich "Regulation von Aufnahme und Assimilation von Stickstoffverbindungen" durch verschiedene Boden- und Gewässerbakterien.

In vielen Böden und Gewässern finden die Bakterien mehrere Stickstoffquellen vor. Die meisten Arten haben eine ausgeprägte Präferenz für bestimmte Verbindungen, meist Ammoniumsalze. Solange diese Substanz vorhanden ist, werden andere Stickstoffquellen nicht umgesetzt, es werden z.B. weder Nitrat, noch Harnstoff oder organische Verbindungen abgebaut. Bakterien sind also wählerisch und ordnen diese Substanzen in einer Art Hierarchie an. Erst wenn die bevorzugten Verbindungen erschöpft sind, wenden sie sich den weniger begehrten zu und bauen z.B. Proteine ab oder binden Luftstickstoff - falls sie die notwendigen Enzyme dazu besitzen. Unsere Untersuchungen befassen sich mit den Mechanismen, die Bakterien anwenden, um das Vorhandensein der Stickstoffquellen in der Umgebung aufzuspüren (oft "raten" sie) und die im Augenblick günstigsten gezielt zu verwerten. □



Zellen -

Ökosysteme

Ökologische Mikrobiologie

Harold Drake

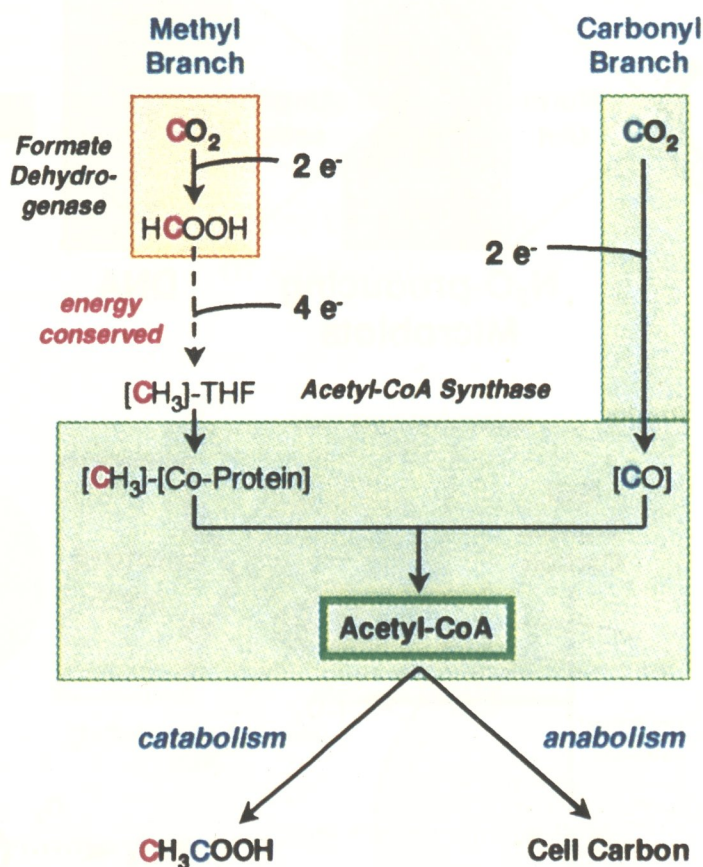
Die Forschungs- und Lehrprofile des Lehrstuhls für Ökologische Mikrobiologie haben ihren Schwerpunkt auf dem Studium von anaeroben Mikroorganismen und den mit ihnen assoziierten Prozessen von der Zell- zur Ökosystemebene. Dazu werden insbesondere molekulare Methoden, Mikrosensoren und anoxische Kultivierungsmethoden eingesetzt (Abb. 1). In den folgenden Abschnitten sind einige der zur Zeit laufenden Arbeiten am Lehrstuhl hervorgehoben.



Abb. 1: Anoxische Methoden

Acetogenese

Der Acetyl-CoA-Weg ist einer der wichtigen anaeroben Prozesse des globalen Kohlenstoffkreislaufes und wird durch anaerobe Bakterien, die man Acetogene nennt, katalysiert. Die Fähigkeit von Acetogenen alternative Elektronenakzeptoren zu benutzen und Sauerstoff zu reduzieren trägt zu ihrer Konkurrenzfähigkeit in Böden und Pflanzenrhizosphäre bei.



Prof. Dr. Harold Drake, Lehrstuhl für Ökologische Mikrobiologie

Abb. 2: Der Acetyl-CoA-Weg.

Mikrobielle Prozesse an oxisch/anoxischen Grenzflächen

Mikrobielle Populationen bilden oft komplexe Lebensgemeinschaften in Mikronischen, wo zahlreiche Prozesse gemeinsam miteinander vorkommen. In Böden laufen viele Prozesse an oxisch/anoxischen Grenzflächen ab, wo trophische Verbindungen und Redoxbedingungen instabil sind (Abb.3). Ein Weg, wie anaerobe Bakterien mit oxischen Bedingungen fertig werden, ist die Bildung von trophi-

schen Verbindungen zu mikroaerophilen Bakterien, die Sauerstoff verbrauchen..(Abb. 4) Der Darm von Tieren stellt ebenfalls einen komplexen Lebensraum dar, und der Regenwurm setzt über die Darmmikroflora das Treibhausgas Distickstoffoxid (N_2O) frei. Die Untersuchung der Populationsdynamiken und der Regulation der Freisetzung erfordert den gleichzeitigen Einsatz molekularer und klassischer Methoden (Abb. 5, nächste Seite)

Abb. 5. Amplifikation und Analyse der genetischen Information der Distickstoffoxid-bildenden Darmmikroflora.

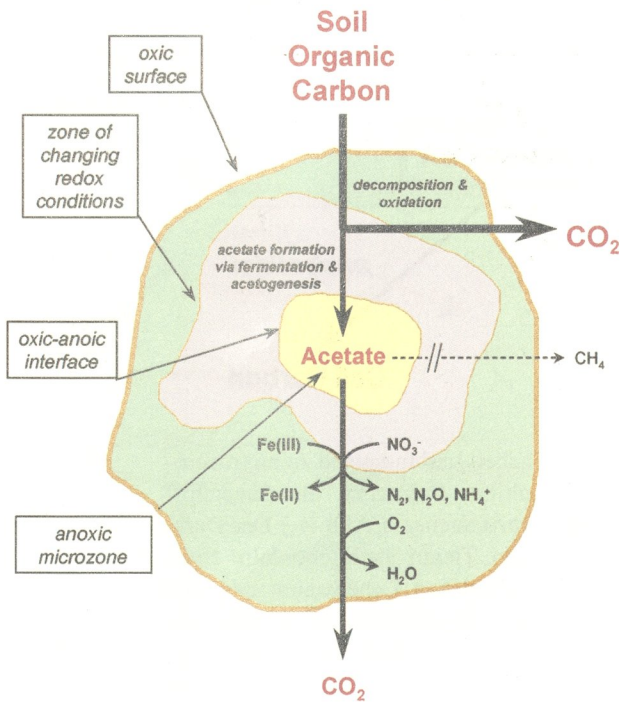
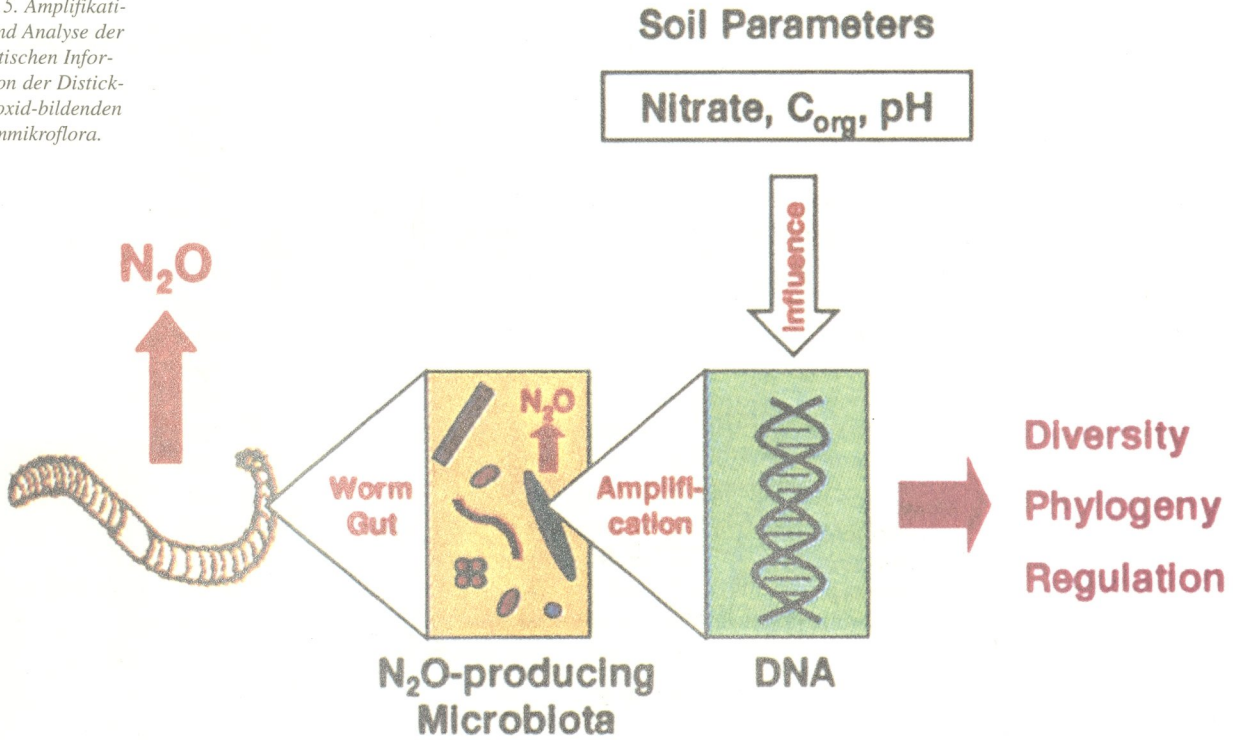


Abb. 3. Zyklische Bildung von Alkalinität und Acidität in sauren, vom Bergbau-beeinflussten Seen.

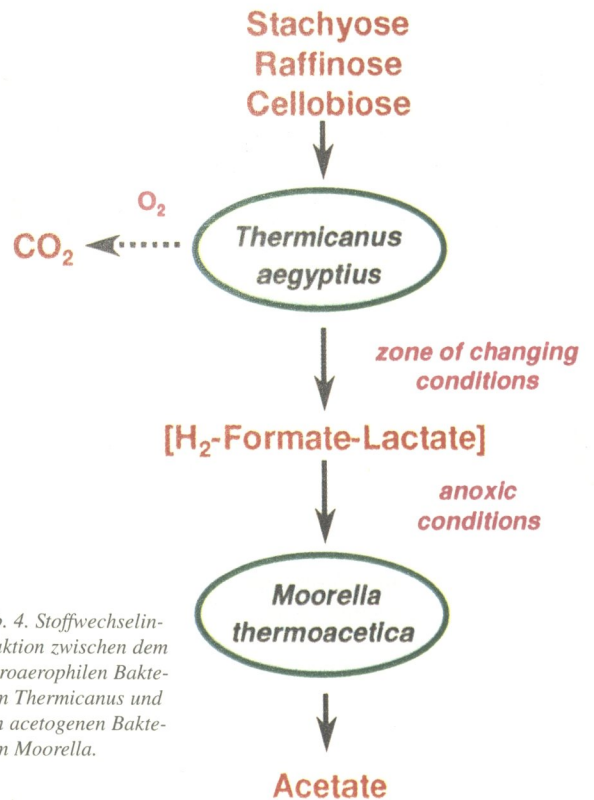


Abb. 4. Stoffwechselinteraktion zwischen dem mikroaerophilen Bakterium *Thermicanus* und dem acetogenen Bakterium *Moorella*.

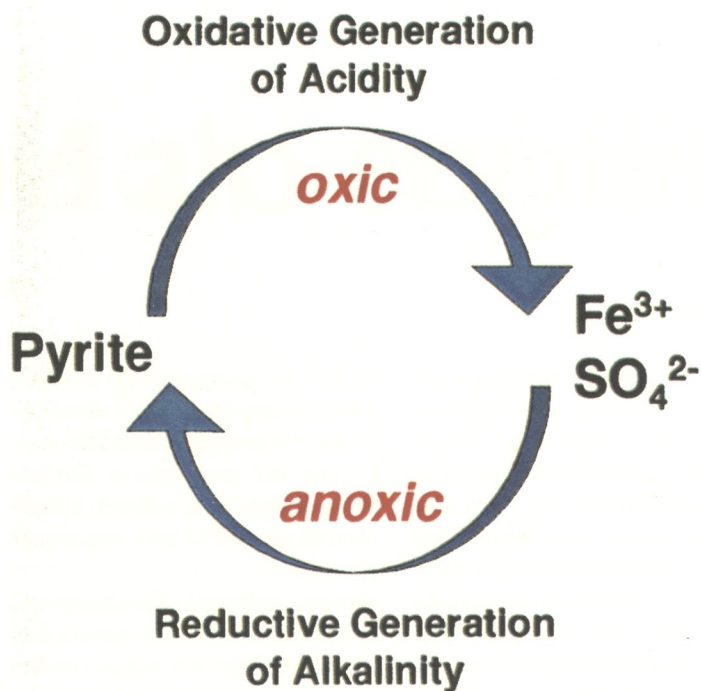


Abb. 8. Zyklische Bildung von Alkalinität und Acidität in sauren, vom Bergbau-beeinflussten Seen.

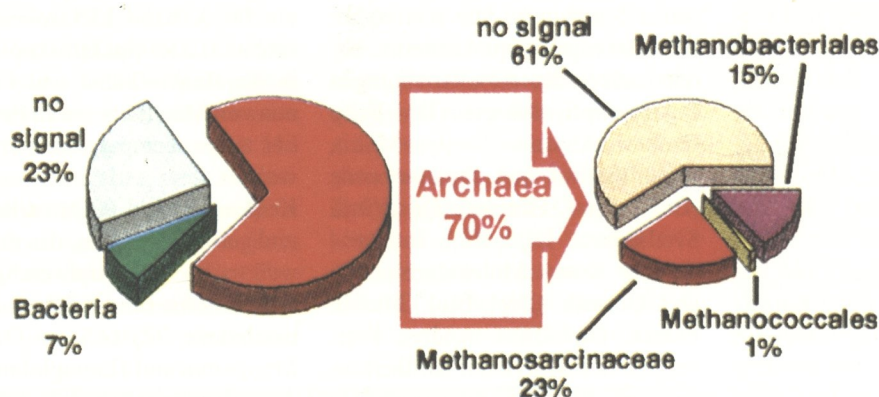


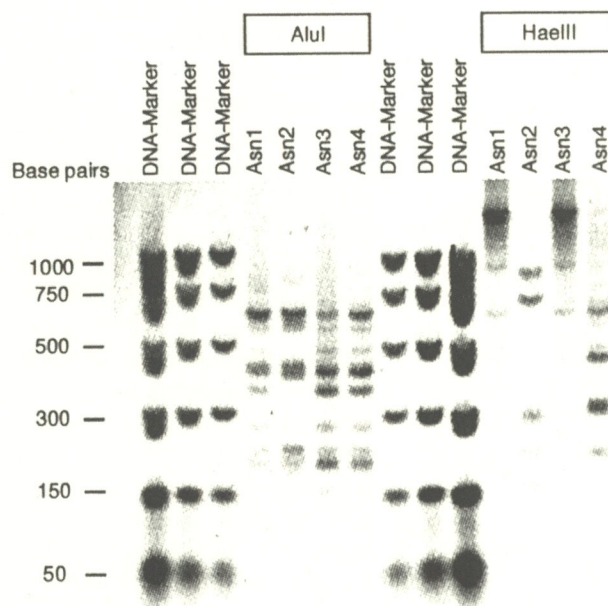
Abb. 7. RFLP-Analyse von Bakterien aus sauren Waldböden.

Abb. 6. Methanogene Archaea in sauren Mooren, aufgeklärt durch molekulare Analysen.

Mikrobielle Prozesse in sauren Lebensräumen

Anthropogene Aktivitäten können zur Versauerung von und Schäden in ursprünglich ungestörten Lebensräumen führen. Molekulare Werkzeuge, mit denen Archaea und Bacteria in Treibhausgas-emittierenden sauren Mooren und Waldböden untersucht werden, entschlüsseln komplexe mikrobielle Gemeinschaften, die am Umsatz von Kohlenstoff und Stickstoff in

solchen Lebensräumen beteiligt sind. Ebenso weisen saure, vom Bergbau-beeinflusste Seen komplexe mikrobielle Fe-S-Redoxprozesse auf (Abb. 3). Das Verständnis der mikrobiellen Ökologie von Schlüsselorganismen und -prozessen ist wichtig für die Sanierung solcher Lebensräume. □



Giftgas als Nahrung

Ortwin Meyer

Proteine spielen eine Hauptrolle in der Ernährung aller Lebewesen: Als „Strukturproteine“ bilden sie das Baumaterial, und als „Enzyme“ sind sie für die Synthese von Zellsubstanz oder deren Abbau zuständig. Für die meisten Vorgänge in Organismen reichen einfache Enzyme aus, die nur aus Aminosäuren aufgebaut sind. Wenn die von Enzymen umgesetzten Stoffe ungewöhnliche chemische Bindungen enthalten, dann ist die Umsetzung (Katalyse) schwierig und verlangt besondere Strukturen und Reaktionsmechanismen. Solche Enzyme bestehen dann nicht nur aus Aminosäuren, sondern nehmen bestimmte organische Moleküle (prothetische Gruppen) oder Metalle (Metallzentren) in ihre Struktur auf und nutzen sie für die Bewältigung der schwierigen Katalyse. Im Gas Kohlenmonoxid ($\text{C}\equiv\text{O}$) ist die chemische Bindung zwischen dem Kohlenstoff (C) und dem Sauerstoff (O) eine solche besonders ungewöhnliche Bindung, da sie Eigenschaften sowohl der Doppel- als auch der Dreifachbindung aufweist. Das Kohlenmonoxid verbindet sich begierig mit Metallen und vergiftet dadurch wichtige Stoffwechselvorgänge. Nur Mikroorganismen können Kohlenmonoxid (CO) zur Ernährung nutzen. Mit Hilfe des Enzyms CO-Dehydrogenase oxidieren sie dazu das giftige Kohlenmonoxid zum ungiftigen Kohlendioxid (CO_2). Die Bayreuther Mikrobiologen haben eine wichtige Entdeckung gemacht: Für das Leben mit Kohlenmonoxid hat die Natur verschiedene spezielle Metallzentren ent-

wickelt, an denen sich die CO-Oxidation vollzieht. Nun ist den Bayreuther Wissenschaftlern die Aufklärung der molekularen Strukturen und Reaktionen dieser Metallzentren in CO-Dehydrogenasen gelungen.

Wissenschaftliche Forschung auf allerhöchstem Niveau entsteht sehr häufig als Ergebnis intensiver Kooperation ausgewiesener Forschergruppen, vielfach aus unterschiedlichen Disziplinen und an verschiedenen Standorten. Die Bayreuther Mikrobiologen repräsentieren bereits selbst die Arbeitsrichtungen Bakterienphysiologie (Dr. Dilip Gadkari, Antonius Sarjiya MSc.), Kristallisation und Proteinchemie (Dr. Lothar Gremer, Dr. Vitali Svetlitchnyi, Dipl.-Biol. Reinhold Ferner) sowie Molekularbiologie und Genetik (Dipl.-Biol. Marion Ferner, Dipl.-Biol. Andrea Freiberg) und kooperieren darüberhinaus im Rahmen des Projektes „Struktur und Funktion der Metalloproteine“ überaus erfolgreich mit der Abteilung Strukturforschung am Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried (Dr. Holger Dobbek, Prof. Robert Huber), dem European Molecular Biology Laboratory, Outstation at DESY in Hamburg (Dipl.-Phys. Manuel Gnida, Dr. Wolfram Meyer-Klaucke), dem Laboratoire Bioénergétique et Ingénierie des Protéines am Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) in Marseille (Prof. Patrick Bertrand) und dem Center of Marine Biotechnology in Baltimore (Prof. Frank T. Robb). Deshalb halten sich die Bayreuther Wissenschaft-

ler häufig am Synchrotron auf, wo sie Strukturuntersuchungen an Proteinkristallen oder „Extended X-ray Absorption Fine Structure“-Spektroskopie (EXAFS) durchführen. Ebenso häufig kommen Besucher nach Bayreuth, denn hier werden die Proteine produziert und analysiert, sowie mit bestimmten Verfahren spezifisch verändert, kristallisiert und tiefgefroren. Neben einem Kristallisationslabor besitzt die Mikrobiologie ein Laboratorium für X-Band Elektronenspinresonanz (ESR)-Spektroskopie, worin die Reaktivitäten und Funktionen von Metallzentren in Proteinen bei tiefen Temperaturen erforscht werden.

Kohlenmonoxid (CO) ist ein farb- und geruchloses Gas, das giftig ist, weil es an lebensnotwendige Metalloproteine binden kann, insbesondere Cytochrom-Oxidase, Myoglobin und Hämoglobin. Es ist deshalb erstaunlich, daß eine ganze Reihe von Vertretern der Bacteria und Archaea vollkommen unempfindlich gegenüber CO sind und das Gas sogar als alleiniges Wachstumssubstrat zu nutzen vermögen (Tab. 1). Demgegenüber ist in höheren Organismen (Eukarya) die Oxidation von CO bisher nicht bekannt. CO kann von Mikroorganismen unter aeroben oder anaeroben Bedingungen genutzt werden (Tab. 1). Im aeroben Oberboden bilden CO-Oxidierer eine wichtige Senke für atmosphärisches CO. Aerobe carboxidotrophe Bakterien kommen in der Deckerde schwelender Kohlenmeiler in natürlicher Anreicherung vor (Abb. 1 A, C). In anaeroben Sedimenten wird CO zu

Mikrobiologie

molekular verstanden

Methan (methanogene Archaeen) oder Acetat (acetogene Bakterien) umgesetzt. In anoxischen vulkanischen Quellen oxidieren hydrogene Bakterien CO unter Reduktion intrazellulärer Protonen zu Wasserstoffgas (Abb. 1 B, D). Die Schlüsselreaktion der Nutzung von CO als alleiniger Quelle von Energie und Zellkohlenstoff ist die Oxidation von CO zu CO₂, die sowohl in aeroben als auch anaeroben Mikroorganismen der Reaktionsgleichung $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$ folgt und von dem Metalloenzym CO-Dehydrogenase katalysiert wird. Interessanterweise haben aerobe und anaeroben Mikroorganismen aber zwei strukturell vollkommen unterschiedliche CO-Dehydrogenasen entwickelt, denn die aeroben CO-Oxidierer besitzen eine Kupfer- und Molybdänhaltige CO-Dehydrogenase

während die anaeroben CO-Oxidierer eine Nickel- und Eisen-haltige CO-Dehydrogenase benutzen (Tab. 1). Kürzlich haben wir die Kristallstrukturen der CO-Dehydrogenasen aus den aeroben carboxidotrophen Bakterien *Oligotropha carboxidovorans* und *Hydrogenophaga pseudoflava* sowie dem strikt anaeroben hydrogenogenen Bakterium *Carboxydotherrmus hydrogenoformans* gelöst. Beide Strukturen ermöglichen nun erstmalig ein vergleichendes Verständnis der enzymatischen CO-Oxidation unter aeroben oder anaeroben Bedingungen auf atomarem Niveau. Sequenzvergleiche zeigen, daß die CuMo-CO-Dehydrogenase aus *O. carboxidovorans* der Prototyp aerober CO-Dehydrogenasen darstellt und die NiFe-CO-Dehydrogenase aus *C. hydrogenoformans* der Prototyp al-

ler anaeroben CO-Dehydrogenasen ist.

Aerobe CO-Dehydrogenase enthält ein neuartiges [Cu-S-Mo]-Metallzentrum

CO-Dehydrogenase aus *Oligotropha carboxidovorans* ist ein aus zwei Heterotrimeren aufgebautes Dimer mit zwei elektronisch unabhängigen katalytischen Einheiten (Abb. 2 A). Jedes Heterotrimer be-

Tab. 1. Die Fähigkeit zur Nutzung von CO tritt in verschiedenen taxonomischen Gruppen von Bakterien oder Archaeen auf. Deshalb werden die CO-oxidierenden Mikroorganismen in physiologischen Gruppen zusammengefaßt. Mit nur sehr wenigen Ausnahmen weisen alle CO-oxidierenden Mikroorganismen einen fakultativen Stoffwechsel auf und können demzufolge auch andere Substrate nutzen. Auffällig ist das häufige Vorkommen von Hydrogenase und die Befähigung zum chemolithoautotrophen Wachstum mit H₂ plus CO₂. ^a Nicht alle Spezies in den aufgeführten physiologischen Gruppen können mit CO wachsen. ^b Die carboxidotrophen Bakterien sind strikt aerob, aber einige wenige Spezies können in Abwesenheit von O₂ denitrifizieren. ^c Für jede physiologische Gruppe ist jeweils nur ein Vertreter aufgeführt. Die Zahl bekannter CO-oxidierender Mikroorganismen kann man auf etwa 50 schätzen. ^d Es sind die Brutto-Umsatzgleichungen für CO von ruhenden, intakten Zellen aufgeführt.

Physiologische Gruppe ^a	Verhältnis zu O ₂ ^b	Spezies ^c	Reaktionsgleichung ^d	CO-Dehydrogenase		
				Charakteristische Metalle	Untereinheitenstruktur	Kristallstruktur
Carboxidotrophe Bakterien	aerob, einige denitrifizieren	<i>Oligotropha carboxidovorans</i>	$2 \text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2$	Cu, Mo, Fe	(αβγ) ₂ -Heterohexamer	✓
Hydrogenogene Bakterien	anaerob	<i>Carboxydotherrmus hydrogenoformans</i>	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	Ni, Fe	α ₂ -Homodimer	✓
Acetogene Bakterien	anaerob	<i>Clostridium thermoaceticum</i>	$4 \text{CO} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 2 \text{CO}_2$	Ni, Fe	Heterotetramer	-
Methanogene Archaeen	anaerob	<i>Methanosarcina barkeri</i>	$4 \text{CO} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{CO}_2 + \text{CH}_4$	Ni, Fe	Heterotetramer	-
Phototrophe Bakterien	anaerob im Dunkeln	<i>Rhodospirillum rubrum</i>	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	Ni, Fe	α ₂ -Homodimer	-
Sulfidogene Bakterien	anaerob	<i>Desulfovibrio vulgaris</i>	$4 \text{CO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 4 \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S}$	Ni, Fe	?	-

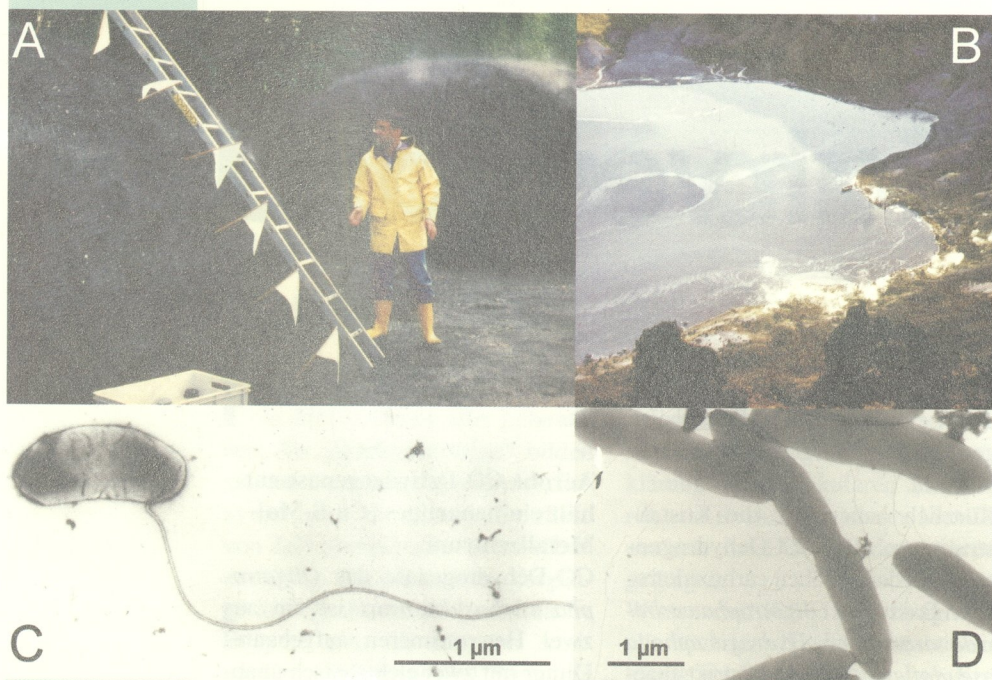


Abb. 1: Habitate und elektronenmikroskopische Aufnahmen CO-oxidierender Bakterien. Diese sind auf die Versorgung mit genügend CO angewiesen. Man kann sie deshalb (A) aus der Deckerde schwelender Kohlenmeiler [z.B. im Fichtelgebirge oder Bayerischen Wald] oder (B) vulkanischen heißen Quellen (z.B. auf der Insel Kunashir der südlichen Kurilen), ebenso wie aus Boden oder Abwasser isolieren. Darstellung negativ-kontrastierter Zellen von (C) *Oligotropha carboxidovorans* DSM 1227 und (D) *Carboxydotherrmus hydrogeniformans* DSM 6008 im Transmissions-elektronenmikroskop (Aufnahme Prof. Dr. Georg Acker, Elektronenmikroskopie, Universität Bayreuth).

steht aus dem Molybdoprotein (88,7 kDa), dem Eisenschwefelprotein (17,8 kDa; FeS-Protein) und dem Flavoprotein (30,2 kDa). Das katalytische Zentrum befindet sich auf dem Molybdoprotein (Abb. 2 A, C). Die beiden anderen Untereinheiten enthalten die prosthetischen Gruppen für den innermolekularen Elektronentransfer (FeS-Zentren und FAD) sowie die Übertragung der Elektronen auf die Komponenten der Atmungskette (Abb. 2 B). Das katalytische Zentrum enthält die Metalle Cu und Mo, die beide über einen μ -Sulfido-Liganden zu einem [Cu-S-Mo]-Zentrum verbrückt sind (Abb. 2 C). Weitere Substituenten am pentakoordinierten Mo sind ein Oxo- und ein Hydroxy-Ligand. Der erstmalig in CO-Dehydrogenase entdeckte Kofaktor Molybdoprotein-Cytosin-Dinucleotid komplexiert das Mo über seine zwei Thiolate und integriert es in das Molybdoprotein (Abb. 2 C). Der Komplex aus Mo und dem Pterin wird auch als Molybdänkofaktor bezeichnet.

Er ist in unterschiedlicher struktureller Ausprägung für die als Nicht-Nitrogenase Molybdoenzyme bezeichnete Klasse von Proteinen charakteristisch. Beispiele weiterer strukturell charakterisierter Enzyme dieser Klasse sind Xanthin-Dehydrogenase/Oxidase und Aldehyd-Oxidoreduktase. Das Cu in CO-Dehydrogenase wird über den γ -Schwefel der Aminosäure Cys388 kovalent mit dem Molybdoprotein verknüpft. Cys388 ist Bestandteil des als „active-site loop“ bezeichneten Motivs VAYRCSFR. Das Motiv ist für CuMo-CO-Dehydrogenasen spezifisch und kommt in anderen Enzymen nicht vor. Elektronenspinresonanzspektroskopie (ESR), „Extended X-ray Absorption Fine Structure“-Spektroskopie (EXAFS) und andere Untersuchungen an oxidiertem CO-Dehydrogenase zeigen die Oxidationszustände Mo(+VI) und Cu(+I).

Katalytischer Mechanismus der aeroben Oxidation von CO
Bindung und Oxidation von CO er-

folgen am [Cu-S-Mo]-Zentrum. Dies zeigt insbesondere die Tatsache, daß CO-Dehydrogenase nach Entfernung eines oder beider Metalle inaktiv ist. Der Komplex von CO-Dehydrogenase mit dem Substrat CO ist experimentell nicht faßbar. Isocyanide ($R-N\equiv C$) und CO ($IC\equiv O$) besitzen ähnliche chemische Strukturen, da beide ein terminales, sp -hybridisiertes C-Atom mit freiem Elektronenpaar besitzen. Deshalb ist n -Butylisocyanid ein sehr effektiver substratanaloger Inhibitor der CO-Oxidation. Die entsprechende Kristallstruktur zeigt die Bindung des Isocyanids am [Cu-S-Mo]-Zentrum. Dabei öffnet sich die chemische Bindung zwischen Cu und dem μ -Sulfido-Liganden, und das Isocyanid wird zwischen Cu und S gebunden. Dabei reagiert das N-Atom des Isocyanids kovalent mit dem Cu und das C-Atom des Isocyanids gleichzeitig mit dem μ -Sulfido-Liganden und der OH-Gruppe des Mo. Aus der Kristallstruktur des Komplexes von CO-Dehydrogenase mit n -Butylisocyanid kann ein Katalysiemechanismus für die Oxidation von CO abgeleitet werden (Abb. 2 D). Der katalytische Zyklus beginnt mit der Bindung des CO-Moleküls an das oxidierte [Cu-S-Mo]-Zentrum. Das elektrophile C-Atom des gebundenen CO-Moleküls ermöglicht einen nukleophilen Angriff der OH-Gruppe des Mo, wobei ein Übergangszustand entsteht, in dem die Struktur des Reaktionsproduktes CO_2 bereits präformiert ist (Abb. 2 D). Es folgen die Freisetzung des CO_2 , Reduktion von Mo(+VI) zu Mo(+IV), Addition von Wasser und Reoxidation des Mo durch Transfer der Elektronen zum $[2Fe-2S]_1$ -Zentrum des FeS-Proteins (Abb. 2 D).

Neue Art der Flavinbindung

Das Flavoprotein der CuMo-CO-Dehydrogenase weist drei Domänen auf. Die Bindung des FAD-Kofaktors im Bereich der Kontakt-

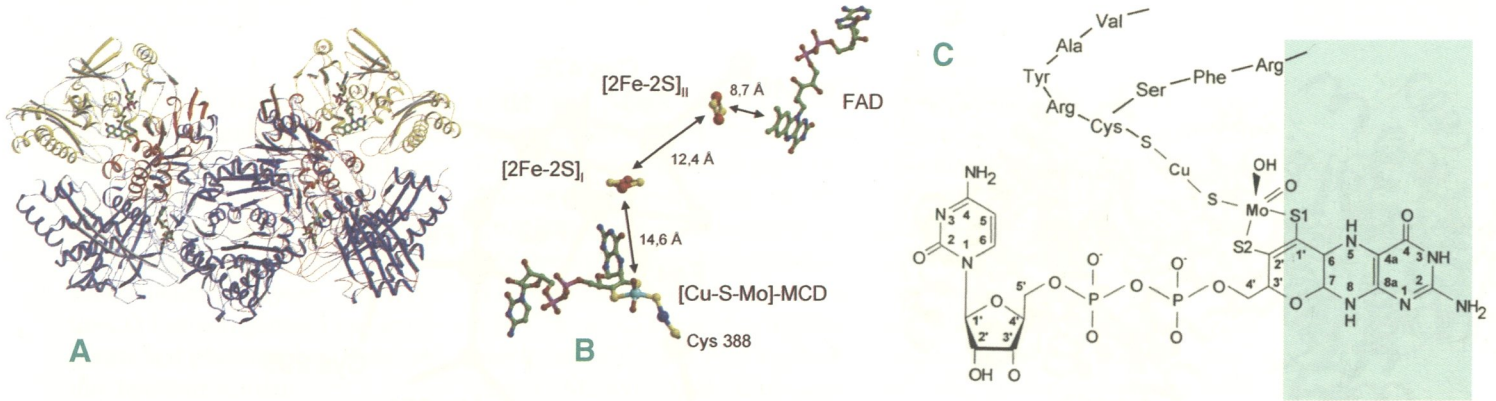


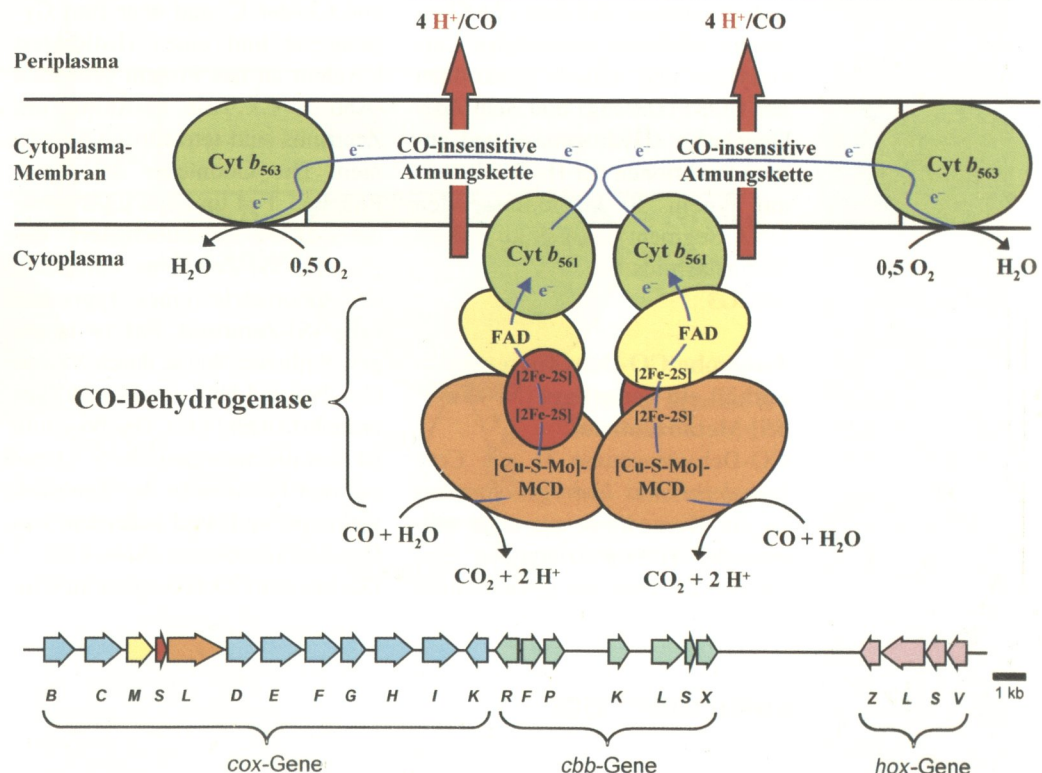
Abb. 2: Kristallstruktur und Funktionen der CuMo-CO-Dehydrogenase aus dem aeroben Bakterium *Oligotropha carboxidovorans*. Inzwischen liegen Strukturen mit einer Auflösung von 1,1 Å vor. (A) Quarzstruktur der dimeren CO-Dehydrogenase. Das Enzym besteht aus zwei identischen Heterotrimeren. Jedes Heterotrimer setzt sich zusammen aus dem 88,7-kDa Molybdoprotein (blau), dem 17,8-kDa FeS-Protein (rot) und dem 30,2-kDa Flavoprotein (gelb). Alle Dimerkontakte gehen von den Molybdoproteinen aus. (B) Anordnung der Kofaktoren im Heterotrimer. CO-Dehydrogenase enthält zwei unabhängige aktive Zentren und intramolekulare Elektronentransportketten mit einem kürzesten Abstand von 53 Å. (C) Im aktiven Zentrum von CO-Dehydrogenase wird Mo von Molybdopterin-Cytosin-Dinucleotid (MCD) komplexiert. Cu wird vom γ-Schwefelatom des Cys 388 gebunden. (D) Wahrscheinlicher Mechanismus der CO-Oxidation.

Abb. 3: Funktion der CuMo-CO-Dehydrogenase und genetische Organisation der Chemolithoautotrophie-Gene auf dem Plasmid pHCG3 von *Oligotropha carboxidovorans*.

fläche zwischen der N-terminalen und der mittleren Domäne offenbart neue Prinzipien der Flavinbindung (Abb. 2 A). Wesentlich für die FAD-Bindung sind zwei Loop-Strukturen mit jeweils einem hoch konservierten Doppelglycin-Motiv. Eines dieser Motive ist in der N-terminalen Domäne lokalisiert, Bestandteil einer $\beta\alpha\beta$ -Struktur und wechselwirkt mit der Pyrophosphat-Gruppe des FADs. Das andere Motiv liegt in der mittleren Domäne und wechselwirkt sowohl mit der Pyrophosphat-Gruppe als auch mit der Ribose und dem Isoalloxazin-Teil des FAD-Kofaktors. Das Flavoprotein kann FAD nur dann binden, wenn es sich im heterotrimeren Komplex mit dem Molybdoprotein und dem FeS-Protein befindet. In *E. coli* wird das *O. carboxidovorans* Flavoprotein als rekombinantes, FAD-freies Apoflavoprotein synthetisiert und besitzt keine Affinität für Flavine. Es kann jedoch CO-Dehydrogenase-Spezies, denen man vorher eines oder beide Flavoproteine durch Detergenzbehandlung entfernt hat, rekonstituieren. Die Ausbildung des heterotrimeren Komplexes führt zu Konformationsänderungen im Flavoprotein, wodurch die FAD-Bindungsstelle vom nicht-bindenden in den bindenden Zustand überführt wird. Diese Konformationsänderungen erstrecken sich bis zum [2Fe-2S]_{II}-Zentrum im FeS-Protein und lassen sich ESR-spektroskopisch verfolgen.

Funktion der CuMo-CO-Dehydrogenase in aeroben Bakterien
In *Oligotropha carboxidovorans* CO-Dehydrogenase durchlaufen

die aus der CO-Oxidation stammenden Elektronen den innermolekularen Elektronentransport und werden schließlich über das FAD auf Cytochrom b₅₆₁ der CO-insensitiven Atmungskette übertragen. (Abb. 3) Cytochrom b₅₆₁ wurde als 2 : 1-Komplex mit membrangebundener CO-Dehydrogenase isoliert und charakterisiert. Cytochrom b₅₆₃ ist die CO-insensitive terminale Oxidase von *O. carboxidovorans*. Die Fixierung von CO₂ erfolgt über den reduktiven Pentosephosphatzyklus. Tatsächlich ist die Organisation der CO-Oxidation in den Bakterien aufwendiger als in (Abb. 3) dargestellt. Die CO-Dehydrogenase Strukturgene *coxMSL* sind Teil eines 14,5 kb umfassenden, CO-spezifisch transkribierten *cox*-Genclusters, dessen einzelne Genfunktionen noch nicht voll verstanden sind (Abb. 3). Analysen von Mutanten zeigen, daß die Gene des Subclusters *coxDEFG* an der posttransla-



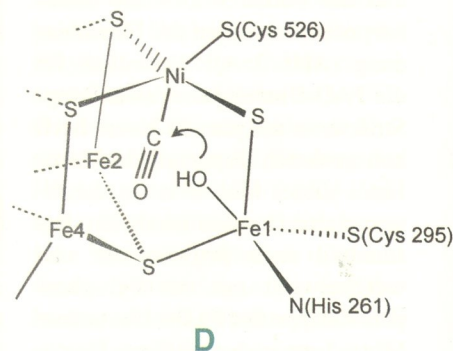
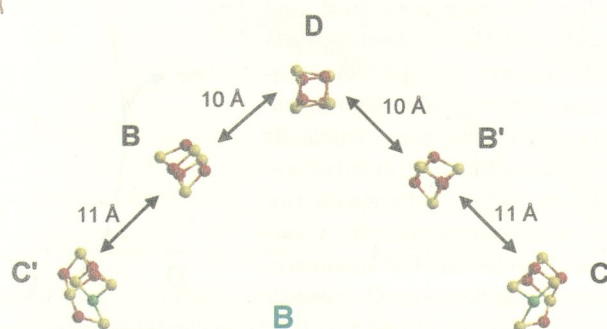
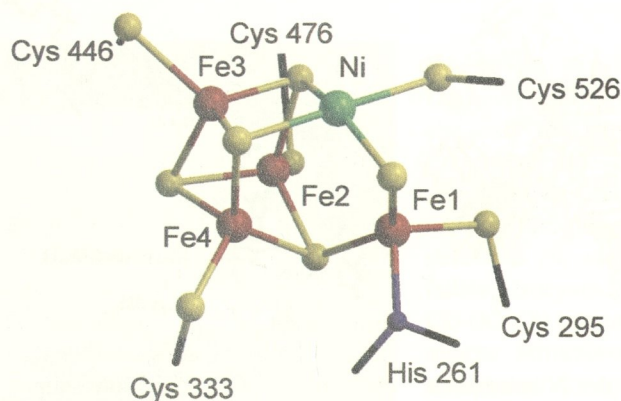
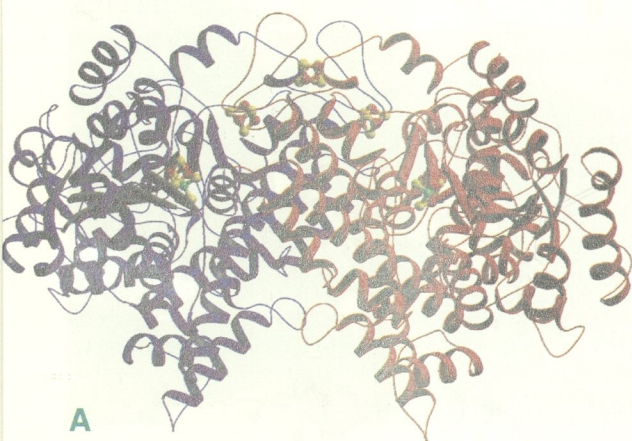


Abb. 4: Kristallstruktur und Funktionen der NiFe-CO-Dehydrogenase II aus dem anaeroben Bakterium *Carboxydotherrus hydrogenoformans* mit einer Auflösung von 1,6 Å. (A) Quartärstruktur der homodimeren CO-Dehydrogenase. Das Enzym besteht aus zwei identischen 67,3-kDa Untereinheiten (blau und rot). (B) Anordnung der Kofaktoren im Homodimer. (C) Cluster C und C', die beiden [Ni-4Fe-5S] katalytischen Zentren. (D) Hypothetischer Mechanismus der CO-Oxidation.

tionalen Biosynthese des [Cu-S-Mo]-Zentrums und der Verankerung von CO-Dehydrogenase mit der Cytoplasmamembran beteiligt sind. Der *cox*-Gencluster befindet sich zusammen mit dem *cbb*-Gencluster (Ribulosebiphosphat-Carboxylase und andere Funktionen der CO₂-Fixierung) und dem *hox*-Gencluster (Hydrogenase und andere Funktionen der H₂-Oxidation) auf einem 30 kb umfassenden DNA-Segment des 128 kb großen Megaplasids pHCG3.

Anaerobe CO-Dehydrogenase enthält ein neuartiges [Ni-4Fe-5S]-Metallzentrum

CO-Dehydrogenase II aus *Carboxydotherrus hydrogenoformans* ist ein Homodimer aus zwei miteinander kommunizierenden Einheiten, die über ein gemeinsames

[4Fe-4S]-Zentrum (Cluster D) miteinander kovalent verknüpft sind (Abb. 4 A und B). Das Homodimer koordiniert zwei weitere [4Fe-4S]-Zentren [Cluster B und B'] sowie zwei neuartige [Ni-4Fe-5S]-Zentren [Cluster C und C'] (Abb. 4 B und C). Letztere befinden sich etwa 18 Å unter der Proteinoberfläche, sind etwa 33 Å voneinander entfernt und katalysieren höchstwahrscheinlich die CO-Oxidation. Die Metallionen von Cluster C sind über fünf Cysteinreste und einen Histidinrest kovalent an das Protein gebunden (Abb. 4 C). Alle Fe-Atome des Zentrums sind tetraedrisch koordiniert. Die Geometrie des durch Fe2, Fe3, Fe4 und drei μ_3 -S gebildeten [3Fe-3S]-Subclusters des [Ni-4Fe-5S]-Zentrums entspricht der Geometrie eines typischen [4Fe-4S]-Zentrums. Fe1 ist in ungewöhnlicher Weise durch S γ von Cys 295 und N ϵ 2 von His 261 koordiniert (Abb. 4 C). Das Ni-Atom ist über drei anorganische S-Atome mit den Fe-Atomen des Zentrums verknüpft und wird außerdem von Cys 526 koordiniert (Abb. 4 C). Die bei der CO Oxidation an Clu-

ster C oder C' freigesetzten Elektronen werden über Cluster B' oder B auf Cluster D übertragen und verlassen dort das Enzym (Abb. 4 B).

Katalytischer Mechanismus der anaeroben Oxidation von CO

Daß die CO-Oxidation am [Ni-4Fe-5S]-Zentrum erfolgt, wird unter anderem von der Struktur der innermolekularen Elektronentransportkette und der Zugänglichkeit des Zentrums für CO vorausgesagt (Abb. 4 A und B). Obgleich noch keine endgültigen Aussagen über den Reaktionsmechanismus gemacht werden können, gibt es doch bereits einige begründete Vorstellungen (Abb. 4 D). Das CO-Molekül bindet an Ni(+II) unter Bildung eines Ni-Carbonyls. Dort wird es von der Hydroxylgruppe an Fe1 nukleophil unter Bildung von CO₂ angegriffen. Die freigesetzten Elektronen werden auf Cluster B oder B' übertragen und die Hydroxylgruppe des Fe1 aus Wasser regeneriert. Für diesen Mechanismus spricht die freie Koordinationsstelle am Ni und die Struktur des Proteins, die einen engen CO-

durchlässigen Kanal aufweist, der von der Proteinoberfläche direkt zum Ni führt. Außerdem existiert ein hydrophiler Kanal für Wasser. Der vorgeschlagene Reaktionsmechanismus steht im Einklang mit funktionellen Analysen, die an Ni-Fe-CO-Dehydrogenasen aus acetogenen und phototrophen Bakterien durchgeführt wurden.

Funktion der NiFe-CO-Dehydrogenasen in anaeroben Mikroorganismen

Carboxydotherrnus hydrogenoformans synthetisiert zwei unterschiedliche membranassoziierte NiFe-CO-Dehydrogenasen. CO-Dehydrogenase I hat katabole Funktion und überträgt die aus der CO-Oxidation stammenden Elektronen über Protein B auf eine Protonen-translozierende Hydrogenase (Abb. 5). CO-Dehydrogenase II hat anabole Funktion indem sie die Oxidation von CO an die Reduktion von NADP^+ zu $\text{NADPH} + \text{H}^+$ für biosynthetische Zwecke koppelt und einen Teil des CO_2 für die Kohlenstoffassimilation produziert (Abb. 5).

Die NiFe-CO-Dehydrogenasen der acetogenen, methanogenen und sulfidogenen Mikroorganismen (Tab. 1) bilden funktionelle Kom-

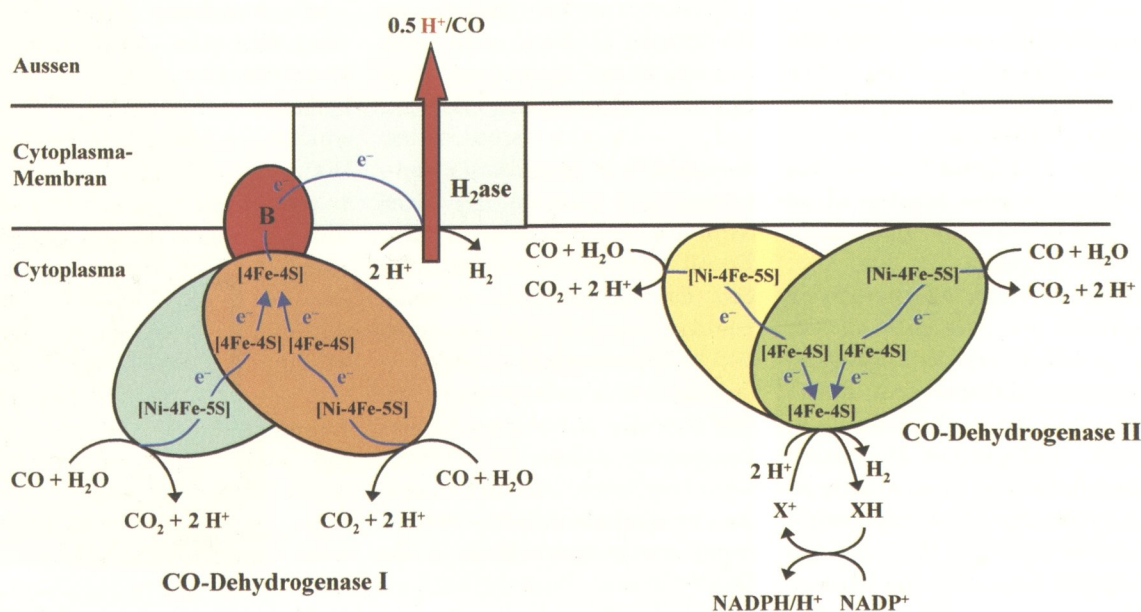
plexe mit Acetyl-CoA-Synthase, einem weiteren Ni-Enzym. Bei den Mikroorganismen, die für die CO_2 -Fixierung den reduktiven Acetyl-CoA-Weg benutzen, katalysiert der CO-Dehydrogenase/Acetyl-CoA-Synthase-Komplex die Reduktion von CO_2 zu CO und die Bildung von Acetyl-CoA aus enzymgebundenen Methyl- und Carbonyl-Gruppen. Beim Wachstum von methanogenen und sulfidogenen Mikroorganismen auf Acetat katalysiert der CO-Dehydrogenase/Acetyl-CoA-Synthase-Komplex die Spaltung von Acetyl-CoA.

Schlussfolgerungen und Perspektiven

Die vergleichende Analyse der CO-Oxidation durch CO-Dehydrogenasen aus aeroben oder anaeroben Mikroorganismen ist durch die atomar aufgelösten Kristallstrukturen der Enzyme aus *Oligotropha carboxidovorans* und *Carboxydotherrnus hydrogenoformans* ermöglicht worden. Trotz der offenkundigen Unterschiede zwischen diesen Enzymen in Struktur und Kofaktorausstattung, wird die CO-Oxidation in beiden Fällen von einem heterobimetallischen Zentrum der allgemeinen Struktur $[\text{M}_1\text{-S-M}_2]$ katalysiert, wobei die Kombination

$\text{M}_1 = \text{Cu}$ und $\text{M}_2 = \text{Mo}$ für aerobe CO-Dehydrogenasen und die Kombination $\text{M}_1 = \text{Ni}$ und $\text{M}_2 = \text{Fe}$ für anaerobe CO-Dehydrogenasen charakteristisch ist. In diesem Zusammenhang ist interessant, daß das Hydroxylaseprotein der CO co-oxidierenden Methanmonooxygenase aus *Methylococcus capsulatus* ein funktionell und strukturell verwandtes $[\text{Fe-O-Fe}]$ -Zentrum enthält. Offenbar kann der die beiden Metalle verbrückende Schwefel durch andere Elemente aus der sechsten Hauptgruppe strukturell und funktionell ersetzt werden. Ob weitere Kombinationen dieser oder ähnlicher Art in anderen Enzymen existieren, müssen die zukünftigen Arbeiten zeigen. Natürlich beginnen wir erst gerade die Katalyse der CO-Oxidation zu verstehen. Die Aufklärung der posttranslationalen Biosynthese des $[\text{Cu-S-Mo}]$ -Zentrums an der Cytoplasmamembran sowie die Kristallstruktur des Komplexes aus NiFe-CO-Dehydrogenase und Acetyl-CoA-Synthase sind weitere spannende wissenschaftliche Herausforderungen für die Zukunft. □

Abb. 5: Funktionen der Ni Fe-CO-Dehydrogenasen I und II in *Carboxydotherrnus hydrogenoformans*. Abkürzungen: B, Ferredoxin-ähnliches Protein; H₂ase, membrangebundene, Komplex I-homologe Hydrogenase.



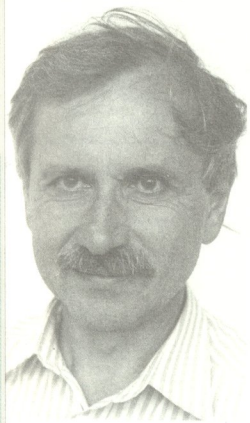
2001

Genetik

Jahr der Lebenswissenschaften

Wolfgang Schumann

Der Zuwachs an Wissen im Bereich Naturwissenschaft und Technik vollzieht sich in einem atemberaubenden Tempo, und der einzelne Bürger steht den daraus resultierenden neuen technischen Errungenschaften meist hilflos gegenüber. Da aber viele dieser technischen Errungenschaften direkt in sein Leben eingreifen (aus dem Bereich der Lebenswissenschaften sind hier gentechnisch-veränderte Lebensmittel, Präimplantations-Diagnostik, das Arbeiten mit embryonalen Stammzellen und Erhaltung der Biodiversität beispielhaft zu nennen), ist hier Entscheidungsfähigkeit des Einzelnen gefordert.



Prof. Dr. Wolfgang Schumann, Lehrstuhl für Genetik und Sprecher der Fachgruppe Biologie

Da dieses viele Bürger überfordert und sie Experten „glauben“ müssen, aber die Tragweite ihrer Entscheidungen oft nicht überblicken, hat die Bundesministerin für Bildung und Forschung, Edelgard Bulmahn, gemeinsam mit dem Stifterverband und den großen Forschungsorganisationen die Initiative „Wissenschaft im Dialog“ gestartet. Ziel dieser Initiative, die über mehrere Jahre angelegt ist, ist der Dialog zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit.

Nachdem das Jahr 2000 der Physik gewidmet war, werden in diesem die aktuellen Ziele der Lebenswissenschaften diskutiert. An diesem Dialog beteiligt sich auch die Fachgruppe Biologie der Universität Bayreuth auf drei Ebenen. Zum einen hat sie ihre Forschungsprojekte auf 43 Postern in Wort und Abbildungen dargestellt, die im Ausstellungsraum des Ökologisch-Bo-

tanischen Gartens angeschaut werden können. Zweitens werden eine Reihe von Biologen in einer Vortragsreihe in der Zeit vom 1. April 2001 bis 6. Januar 2002 über ausgewählte Forschungsprojekte berichten. Und Drittens sind in diesem SPEKTRUM-Heft die Forschungsaktivitäten der einzelnen Arbeitsgruppen übersichtsartig dargestellt. Ausser in der Fachgruppe Biologie werden auch in der Fachgruppe Chemie, und hier besonders in der Biochemie Vorgänge des Lebens erforscht. Diese Forschungsaktivitäten werden in einem späteren SPEKTRUM-Heft im Detail dargestellt.

Die Forschungsaktivitäten der Fachgruppe Biologie sind zwei Schwerpunkten zuzuordnen, zum einen dem Schwerpunkt Ökologie und Umweltwissenschaften einschließlich Biodiversitätsforschung und zum anderen dem Schwerpunkt Molekularbiologie. Es soll an dieser Stelle betont werden, dass diese beiden Schwerpunkte nicht wie zwei eratische Blöcke nebeneinander stehen, sondern dass es Überlappungen gibt, und dass die Verzahnung in den kommenden Jahren fortschreiten wird. Dies beruht zunächst darauf, dass molekularbiologische Methoden in zunehmendem Maße in der Ökologie und Biodiversitätsforschung eingesetzt werden und um-

gekehrt Molekularbiologen sich vermehrt für ökologische Fragestellungen interessieren. Ein wesentlicher Grund für diese Entwicklung beruht auf der Genomsequenzierung von mittlerweile mehr als 200 Mikroorganismen. Hier zeigte sich, dass die Funktion von bis zu 50% aller Gene eines Organismus unbekannt ist, und dass die Funktion von vielen dieser Gene nicht in Laborexperimenten ermittelt werden kann. Hier muss der Forscher den Mikroorganismus im Ökosystem testen, um Informationen über die biologische Bedeutung vieler dieser Gene unbekannter Funktion zu erhalten. Die molekularen Biowissenschaften verdanken ihren ungeheuren Auf-

Jedes Labor, in dem gentechnisch gearbeitet wird, net werden. Dabei steht S1 für Sicherheitsstufe 1 menschlische Gesundheit und Umwelt besteht.



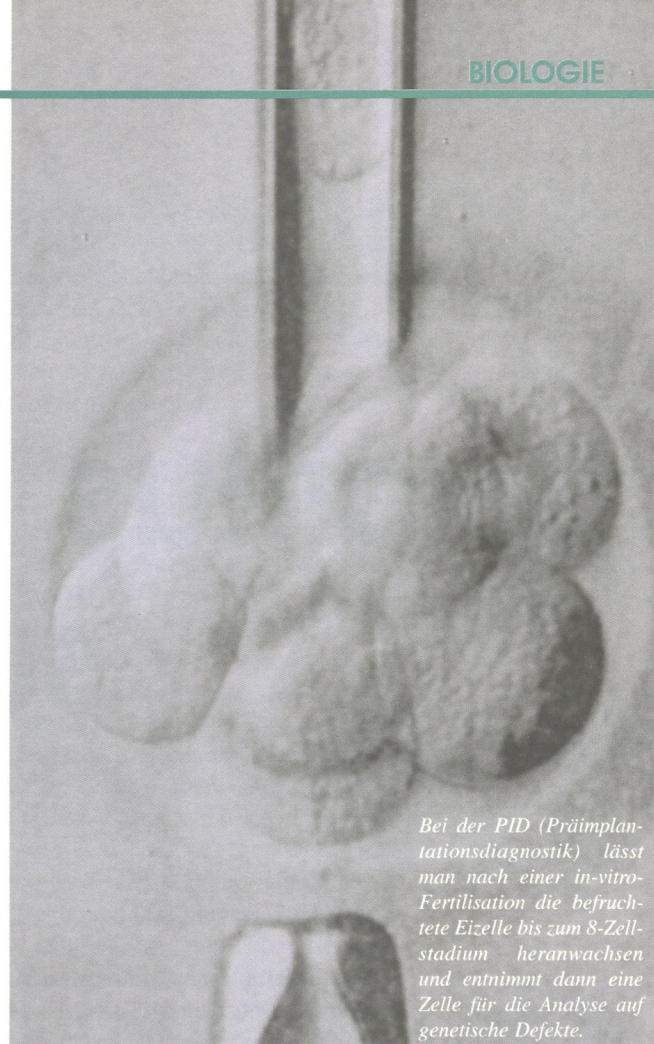
schwung der Entwicklung von drei methodischen Ansätzen. Da war zunächst die Entwicklung der Gentechnik, die 1974 mit der Klonierung eines Gens aus einem Frosch in das Darmbakterium *Escherichia coli* in einem ersten „Big Bang“ ihren Anfang nahm. Die „Hintergrundstrahlung“ diesen ersten Big Bangs ist auch im Jahr 2001, also 26 Jahre später, noch wahrnehmbar, wie die vielen Diskussionen über die Anwendung der Gentechnik in den Bereichen gentechnisch-veränderte Lebensmittel und Gendiagnostik beim Menschen zeigen. Der zweite „Big Bang“ ereignete sich drei Jahre später, 1977. In diesem Jahr wurden von zwei verschiedenen Forschergruppen Methoden publiziert, die die Sequenzierung von DNS, also die Bestimmung der Buchstabenfolge, erlaubt. Der dritte „Big Bang“ ereignete sich im Jahr 1985, als die Methode der Vervielfältigung von DNS mit der Polymerase-Ketten-Reaktion publiziert wurde. Alle drei Methoden zusammen ermöglichen die Sequenzierung von Genomen (die Gesamtheit der Gene eines Organismus) beliebiger Organismen und haben im letzten Jahr in der Publikation des menschlichen Genoms kulminiert und in ihrer Gesamtheit das Gebiet der Genomforschung eröffnet. In der Ökologie stand

zunächst die Analyse der Beziehungen zwischen Organismen und ihrer Umwelt im Vordergrund. In den letzten 20 Jahren hat sich die wissenschaftliche Auseinandersetzung zunehmend mit den Auswirkungen menschlichen Handelns auf die Biosphäre zugewandt. Selbst naturnah verbliebene Lebensräume werden heute zunehmend verkleinert, in großen Landstrichen werden ganze Ökosysteme dem landwirtschaftlichen Anbau und der Errichtung von Siedlungen geopfert. Aber auch unbeabsichtigte Effekte (hier sei die globale Erwärmung beispielhaft genannt), wird das Erscheinungsbild der Biosphäre in den kommenden Jahrzehnten drastisch wandeln. Alle diese Entwicklungen sind aufs engste mit dem Schlagwort „Biodiversitätskrise“ verbunden. Hier stehen Fragen nach der Bedeutung einer hohen Artenvielfalt, aber auch zu wissenschaftlich fundierten Schutzkonzepten, zur Wiederherstellung geschädigter Ökosysteme sowie zur Vorhersage ökologischer Prozesse im Vordergrund der Forschung.

Die im Bereich der molekularen Biowissenschaften forschenden Wissenschaftler haben sich im Bayreuther Zentrum für Molekulare Biowissenschaften (BZMB) zusammengeschlossen, um in diesem Zentrum nicht nur ihre Forschungsergebnisse zu diskutieren, sondern darüber hinaus auch Zusammenarbeiten zu etablieren. Dies geschieht fächerübergreifend und vereint Arbeitsgruppen aus der Biologie, der Chemie und der Physik. Eine Würdigung des BZMB hat im letzten SPEKTRUM-Heft stattgefunden. Und auch im Bereich der Ökologie forschende Wissenschaftler haben sich zusammengeschlossen und betreiben die Gründung des Bayreuther Zentrums für Ökologie und Umweltwissenschaften, mit dessen Gründung noch in diesem Jahr gerechnet wird. □

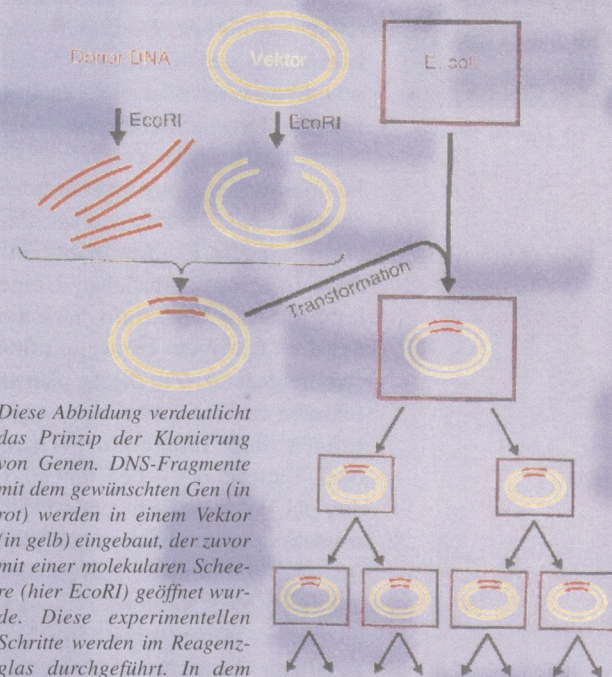


...eitet wird, muss durch dieses Schild gekennzeichnet werden. Die Stufe 1 und bedeutet, dass kein Risiko für die ...steht.



Bei der PID (Präimplantationsdiagnostik) lässt man nach einer in-vitro-Fertilisation die befruchtete Eizelle bis zum 8-Zellstadium heranwachsen und entnimmt dann eine Zelle für die Analyse auf genetische Defekte.

Klonierung von DNS-Fragmenten



Diese Abbildung verdeutlicht das Prinzip der Klonierung von Genen. DNS-Fragmente mit dem gewünschten Gen (in rot) werden in einem Vektor (in gelb) eingebaut, der zuvor mit einer molekularen Schere (hier EcoRI) geöffnet wurde. Diese experimentellen Schritte werden im Reagenzglas durchgeführt. In dem nachfolgenden Schritt, Transformation genannt, werden die rekombinanten Vektoren in Zellen des Darmbakteriums *Escherichia coli* eingeführt, wo sie sich vermehren und an alle Tochterzellen weitergegeben werden.

Bacillus subtilis

Thomas Wiegert



Dr. Thomas Wiegert

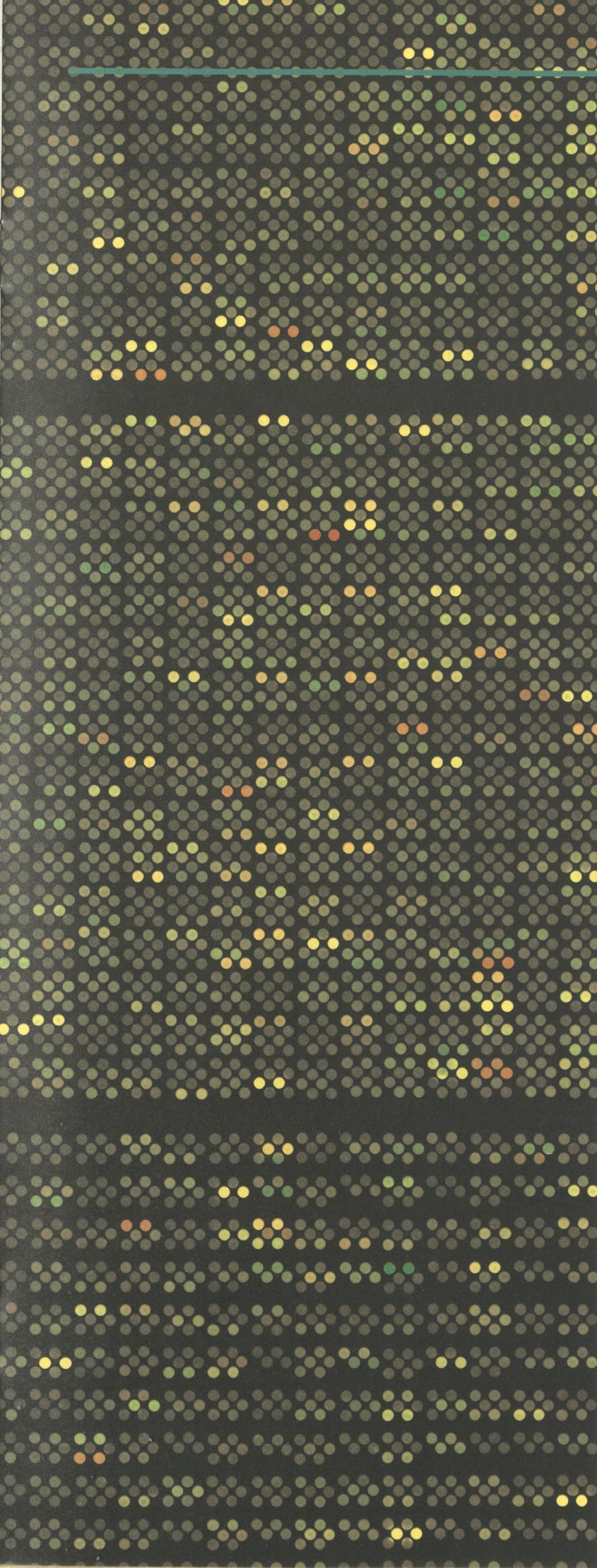
Jede Zelle eines biologischen Organismus besitzt eine bestimmte Anzahl von Genen, in denen der Bauplan des Lebens verschlüsselt ist. Die Ausprägung vieler Gene ist nicht zu jedem Zeitpunkt gleich, sondern wird von internen oder externen Signalen reguliert. Die Aufklärung der molekularen Mechanismen dieser Genregulation und das Verständnis des komplexen genetischen regulatorischen Netzwerks ist eine zentrale Fragestellung innerhalb der Molekularbiologie.

In unserer Arbeitsgruppe untersuchen wir das Bodenbakterium *Bacillus subtilis* als Modellorganismus. In seiner natürlichen Umgebung ist das Bakterium verschiedensten widrigen Umwelteinflüssen ausgesetzt. Zu diesen Stressfaktoren zählen plötzliche Änderungen der Temperatur (Hitze- oder Kälteschock), des umgebenden pH-Werts (Alkali- oder Säureschock) oder der Salzkonzentration (osmotischer Schock). Als Antwort auf einen solchen Stress kommt es zu einer vorübergehenden Anschaltung bestimmter Gene und damit zu einer verstärkten Bildung

sogenannter Stressproteine, die ein Überleben der Zellen unter der jeweiligen Schocksituation ermöglichen.

Aus dieser bakteriellen Stressantwort ergeben sich interessante Fragestellungen: 1. Welche Gene werden durch den jeweiligen Schock angeschaltet, und welche Funktion üben die Genprodukte in der Zelle aus? 2. Wie erfolgt die Anschaltung der Gene? Gibt es übergreifende Regulationsmechanismen, d.h. werden verschiedene Gene durch denselben molekularen Mechanismus gesteuert? 3. Wie und wodurch wird das Signal des Umweltstresses aufgenommen und weitergeleitet?

Da das Genom, d.h. die vollständige DNA-Sequenz von *B. subtilis* bereits 1997 entschlüsselt wurde, können wir mit Hilfe der sogenannten DNA-Chip-Analyse das globale Ausprägungsmuster aller 4106 Gene des Bakteriums nach der Einwirkung eines Stressfaktors bestimmen und mit dem Ausprägungsmuster ohne Schock vergleichen. Entsprechende Computerprogramme ermöglichen dann eine genaue quantitative Analyse und



berechnen den Faktor, um den bestimmte Gene nach einem Schock an- oder auch abgeschaltet werden. Unsere DNA-Chip-Analysen von *B. subtilis* nach Alkalischock haben zu völlig neuen Erkenntnissen auf dem Gebiet der pH-Regulation von Genen geführt. Durch die plötzliche Anhebung des umgebenden pH-Wertes werden ca. 80 Gene des Bakteriums mindestens vierfach erhöht ausgeprägt, manche sogar bis zu einem Faktor von 40. Auf dem DNA-Chip in der Abbildung sind die Signale der angeschalteten Gene nach Alkalischock rot dargestellt. Es konnte gezeigt werden, daß ca. 50 dieser Gene über einen gemeinsamen Mechanismus reguliert, d.h. zu einem Regulon zusammengefasst werden können. Die Genprodukte dieses Regulons stehen nahezu alle in Zusammenhang mit bestimmten Membranfunktionen der Zelle, z.B. Transportprozessen. Als Sensor des Alkalischocks konnte ein membrangebundenes Protein identifiziert werden, welches mit hoher Wahrscheinlichkeit unter normalen Wachstumsbedingungen ein anderes Protein an sich bindet und dadurch inaktiviert. Durch den Alkalischock wird dieses zweite Protein dann freigesetzt und führt zur Ablesung der ca. 50 Gene des Regulons. Weitere Arbeiten befassen sich nun mit der Fragestellung, wie das Signal des Alkalischocks vom Sensorprotein aufgenommen und weitergeleitet wird. □

*Auswertung eines DNA-Chips als Rot/Grün Bild. Der DNA-Chip enthält sämtliche Gene des Bakteriums *B. subtilis*, jeweils zwei nebeneinanderliegende Punkte stellen das Signal eines Gens dar. Die Farbe der Punkte stellen die Änderung der Genausprägung, in diesem Fall nach plötzlicher Änderung des umgebenden pH-Wertes des Bakteriums (Alkalischock), dar. Rot bedeutet Anschaltung, Grün Abschaltung und Gelb eine unveränderte Genausprägung.*

Identifizierung transgener Insekten

Ernst A. Wimmer

Viele Insekten schädigen Agrar- und Forstwirtschaft oder übertragen tödliche Krankheiten. Ihre Bekämpfung stützt sich gegenwärtig vor allem auf den Einsatz von Pestiziden, was aber nicht nur zu ökologischen Schäden führen kann, sondern - wegen des häufigen Auftretens von Pestizid-Resistenzen - auch mit enormen Kosten bei der Entwicklung neuer Pestizide verbunden ist. Zukunftsweisende Strategien einer modernen, ökologischen Schädlingsbekämpfung erfordern ein besseres Verständnis von Physiologie und Ökologie der verschiedenen Schadinsekten. Bei der nötigen Forschungsarbeit wären molekulargenetische Methoden von großem Nutzen. Außerdem ist prinzipiell auch die Freisetzung von gentechnisch veränderten Insekten bei der Schädlingsbekämpfung denkbar. Allerdings ist die Freisetzung von gentechnisch veränderten Insekten nicht unproblematisch und erfordert sehr sorgfältige Untersuchungen zu möglichen Risiken.

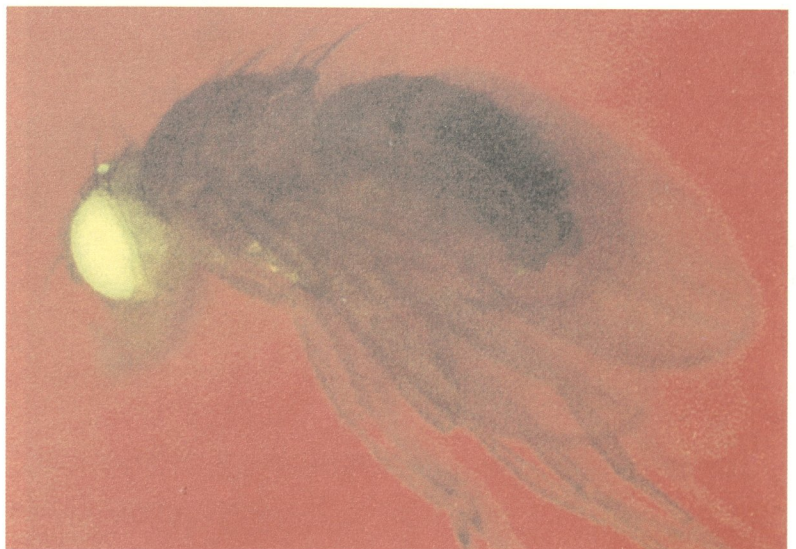


Dr. Ernst A. Wimmer

Bereits seit einigen Jahren werden ganz konkrete gentechnische Anwendungen in diese Richtung verfolgt. Beispielsweise wird intensiv an der genetischen Veränderung von Moskitos gearbeitet, damit diese bestimmte lebensbedrohliche Krankheiten nicht mehr übertragen können. Dabei versucht man Malaria-Mücken so zu verändern, dass sich der Malaria-Erreger

nicht mehr im Darm der Mücken einnisten kann, oder dass die Erreger nicht mehr über den Speichel der Mücke auf den Menschen übertragen werden können. Eine weitere wichtige und vielversprechende Arbeitsrichtung konzentriert sich auf den Ersatz oder die Unterstützung von chemischer Schädlingsbekämpfung durch ökologisch verträglichere Methoden wie zum Beispiel die Sterile-Insekten-Technologie (SIT). Bei dieser Methode werden große Mengen an sterilen Insekten freigesetzt. Dies führt zu fruchtlosen Paarungsereignissen mit den wilden Schadinsekten und daher schließlich zu einer starken und nachhaltigen Reduktion der Schädlingspopulation. Bei der SIT ist es jedoch von großer Wichtigkeit, daß nur sterile Männchen freigesetzt werden, da auch sterilisier-

te Insektenweibchen immer noch die Agrarproduktion allein durch das Anstechen mit dem Legestachel schädigen bzw. durch Blutsaugen Krankheiten auf Mensch und Tier übertragen können. Im Rahmen der derzeitigen SIT-Anwendungen werden die Männchen durch arbeitsintensive Sortierung von den Weibchen getrennt und durch Röntgen-Strahlung sterilisiert. Durch diese Bestrahlung wird aber die Vitalität und Konkurrenzfähigkeit sterilisierter Insektenmännchen gegenüber freilebenden oft stark beeinträchtigt. Dank gentechnischer Veränderungen sollte es möglich sein, Schadinsekten zu erzeugen, die nur im Labor unter speziellen Bedingungen vermehrt werden können und von denen nach einer Freisetzung die Männchen sofort steril werden,



Taufliege *Drosophila melanogaster* mit einem Markierungsgen, das die Augen grün fluoreszieren lässt. (© Alexandra C. Pinkerton)

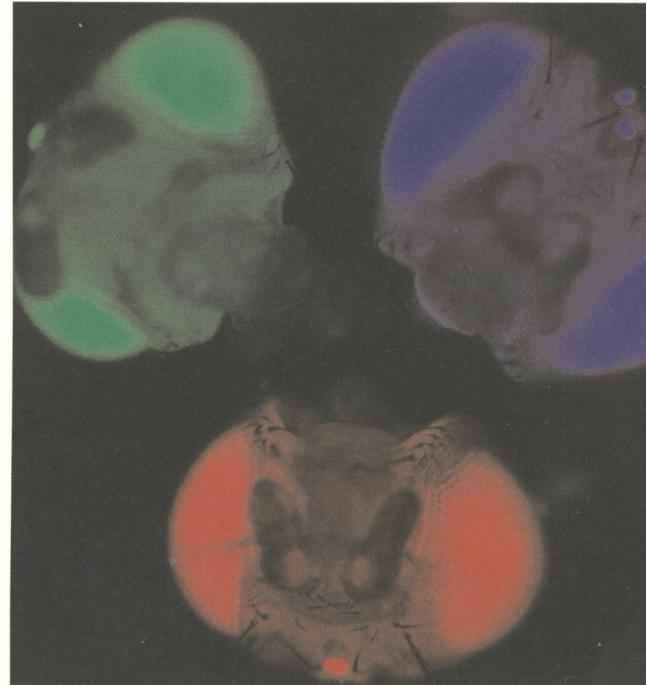
beziehungsweise die Weibchen absterben. Auf diese Weise wäre es sehr einfach, kompetitive sterile Männchen in Massen zu erzeugen. Da die freigesetzten Insekten steril sind bzw. absterben, sollte überdies eine Verbreitung der gentechnischen Veränderung sehr unwahrscheinlich sein, was für die ökologische Verträglichkeit dieser spezialspezifischen Bekämpfungsmethode spricht. Am Lehrstuhl für Genetik befaßt sich die Arbeitsgruppe Wimmer mit molekulargenetischen und gentechnologischen Ansätzen zur modernen, ökologisch verträglichen Insektenbekämpfung im Interesse einer nachhaltigen Nutzung von Agrar- und Forstwirtschaft. Sie wird dabei von der Robert Bosch Stiftung gefördert, die eine "Junior-Professur" und die dazugehörige unabhängige Arbeitsgruppe finanziert.

Ein erster wichtiger Schritt im Hinblick auf die gentechnische Modifizierung verschiedener Insekten ist uns bereits gelungen. Denn im Kontrast zu den beschriebenen, vielversprechenden Hoffnungen war bis vor kurzem die molekulargenetische Erforschung und gentechnische Veränderung beschränkt auf ganz wenige Insektenarten, denen keinerlei wirtschaftliche oder medizinische Bedeutung zukommt. Dies lag vor allem daran, dass es schwierig war zu erkennen, ob ein gewünschtes Gen (z.B. ein Sterilitätsgen) sich erfolgreich in das Erbgut eines Insekts eingefügt hatte. Für derartige genetische Modifikationen werden natürlich vorkommende, sogenannte Transposons benutzt. Diese Transposons haben die Fähigkeit sich als "springende Gene" in das Genom eines Empfängerorganismus zu integrieren. Modifizierte Transposons können daher als Vehikel zur Insertion von gezielt konstruierten Transgenen benutzt werden. Da solche Insertionen aber seltene Ereignisse darstellen, baut man in das Transposon zusätzlich ein spezielles "Markierungsgen"

ein, mit dessen Hilfe man die Tiere identifizieren kann, bei denen der Gentransfer erfolgreich war.

In Zusammenarbeit mit Andreas J. Berghammer und Martin Klingler von der Ludwig-Maximilians-Universität München ist es uns nun gelungen, den Gentransfer auf einfache und zuverlässige Weise - nämlich anhand fluoreszierender Augen - nachzuweisen. Dieses Nachweissystem ist prinzipiell bei allen augentragenden Tierarten anwendbar. Die universelle Eignung beruht darauf, dass wir Nessel-tier-Gene, die für Fluoreszenzproteine kodieren, unter die Kontrolle eines genetischen Schaltkreises gestellt haben, der bei der Augenentwicklung aller Tiere aktiviert wird. Bisher hatte man für jede Tierart ein eigenes, spezielles Markierungsgen entwickeln müssen, was jeweils viele Jahre Arbeit kostete. Das neu entwickelte System bietet nun ideale Voraussetzungen für die molekulargenetische Analyse verschiedener gesundheitlich, wirtschaftlich oder ökologisch relevanter Insekten. Für entsprechende Projekte konnten wir das System auch bereits vielen Arbeitsgruppen auf der ganzen Welt zur Verfügung stellen. Die universelle Einsatzfähigkeit des Systems erlaubt zudem genauere Untersuchungen zur Technologiefolgenabschätzung im Hinblick auf die Freisetzung transgener Tiere.

Durch den Einsatz von grünen, blauen und roten Fluoreszenzmarkern konnten wir mittlerweile drei unabhängig nachweisbare Markierungsgene etablieren. Damit werden zur Zeit genetische Mehr-Komponenten-Systeme entwickelt, welche für die Identifizierung und Isolierung unterschiedlichster Genfunktionen in verschiedenen Tieren eingesetzt werden können. Zum Beispiel sollen so gezielt genetische Faktoren der Sekretion von Wirk- und Signalstoffen von Schwarzkäfern identifiziert werden (siehe Beitrag von Prof. Klaus H. Hoffmann). Zudem können diese



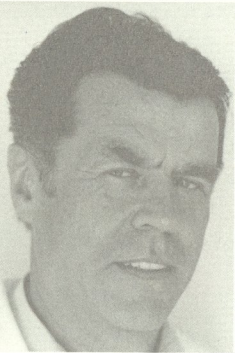
In Abhängigkeit verschiedener Markierungsgene zeigen weißbügige Taufliegen deutlich unterscheidbare grüne, blaue oder rote Augenfluoreszenz.
(© Carsten Horn)

Systeme aufgrund ihrer Spezies-Unabhängigkeit auch vergleichend in einer Reihe von verschiedenen verwandten Tieren eingesetzt werden, was es uns erlaubt biologische Prozesse im Hinblick auf ihre Evolution zu untersuchen. Neben der bereits oben erwähnten Weiterentwicklung der SIT benutzen wir die neuen genetischen Mehr-Komponenten-Systeme auch für die Erforschung der Evolution von Entwicklungsmechanismen. Darüber hinaus bietet die nun mögliche gentechnische Modifikation verschiedener Tierarten aber viele weitere neuartige Ansatzpunkte für die genetische und zoologische Grundlagenforschung, vor allem auf den Gebieten der Entwicklungsbiologie, Evolutionsbiologie, Ökologie und Verhaltensforschung.

Neben der unabhängigen Arbeitsgruppe Wimmer forschen am Lehrstuhl für Genetik weitere Arbeitsgruppen unter Leitung von Prof. Christian Lehner an zell- und entwicklungsbiologischen Fragestellungen zur Regulation der Zellteilung. Ein Einblick in diese Forschungsprojekte wird im Internet geboten. □

<http://btbgn1.bio.uni-bayreuth.de/Isenetik1/frames.htm>

Elektronen- mikroskopie



Georg Acker

Prof. Dr. Georg Acker; Leiter der Abteilung für Elektronenmikroskopie

Abb. 1: Bakterienzellen (*Clostridium akagii*) sind untereinander durch connecting filaments (CFs) verbunden (Bild 1a).

Das CF besteht aus einer Scheide (Sh) und einem core (C). Kooperation mit der AG Professor H. Drake, Lehrstuhl Ökologische Mikrobiologie.

Bei anderen Bakterienarten gehen von einer Zelle mehr als zwei CFs aus (z. B. Bild 1c, rechte Seite) und vernetzen benachbarte Zellen zu dreidimensionalen Zellaggregaten. Die im Detail noch nicht aufgeklärte Ultrastruktur und Funktion(en) des von uns erstmalig beschriebenen CF werden untersucht. Diplomarbeit Angela Pögel, AG Professor Acker

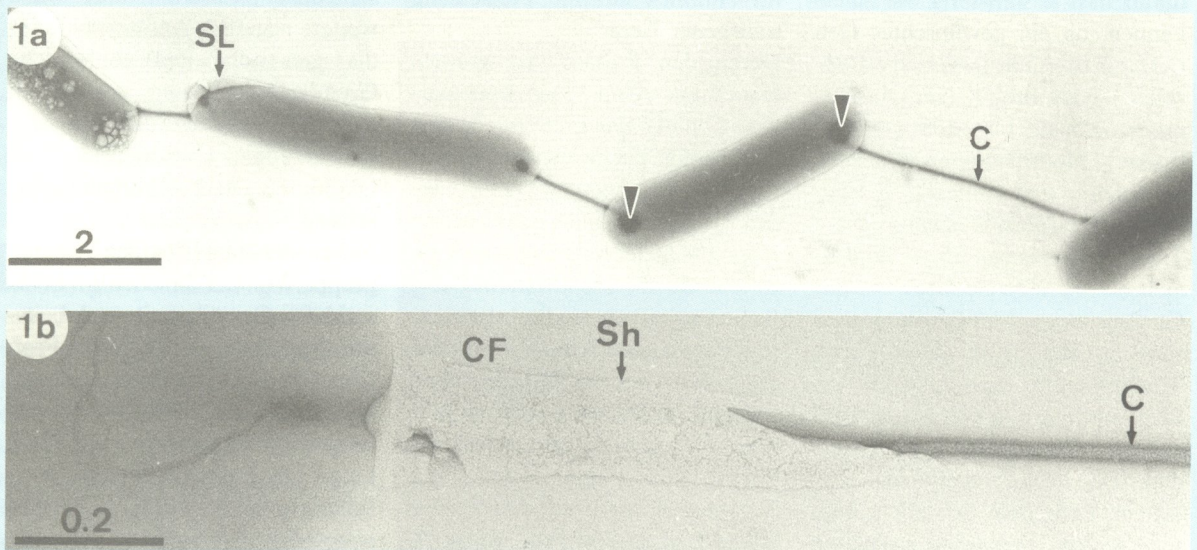
Die seit 1980 bestehende Zentrale Abteilung für Elektronenmikroskopie der Fachgruppe Biologie verfügte ursprünglich über konventionelle Transmissions- und Raster- (=scanning)-Elektronenmikroskope (TEM und SEM) sowie eine recht gute Ausrüstung mit Zusatzgeräten für die Präparation biologischer Proben.

Im Jahre 1992 wurde ein Computer-TEM vom Typ Zeiss CEM 902 A (HBFG Verfahren) in Betrieb genommen. Mit dem erstmalig in die Mikroskopsäule integrierten Elek-

tronen-Energie-Verlust (=loss)-Spektrometer (EELS) können hochempfindliche *Electron Energy Loss Spectra* (Nachweisgrenze: 10-21 g) zum Nachweis biologisch und medizinisch wichtiger Elemente aufgenommen werden. Von den mit der EELS-Methode nachgewiesenen Elementen können mit der ESI (*Electron Spectroscopic Imaging*)-Methode Elementverteilungsbilder (laterale Auflösung im nm-Bereich) hergestellt werden.

Im Jahre 2000 wurde die neuartige ESEM-Technologie (*Environ-*

mental Scanning Electron Microscopy; HBFG Verfahren) eingeführt. Mit neu entwickelten Detektoren können biologische, nicht präparierte Proben im computergeordneten Philips XL 30 ESEM, im hydrierten, fast natürlichen Zustand (daher wird das ESEM oft als Umweltmikroskop bezeichnet), untersucht werden. Durch Umschalten aus dem H₂O-Arbeitsmodus in den Hochvakuummodus können natürlich auch vorher präparierte Proben, allerdings im entwässerten, trocknen Zustand



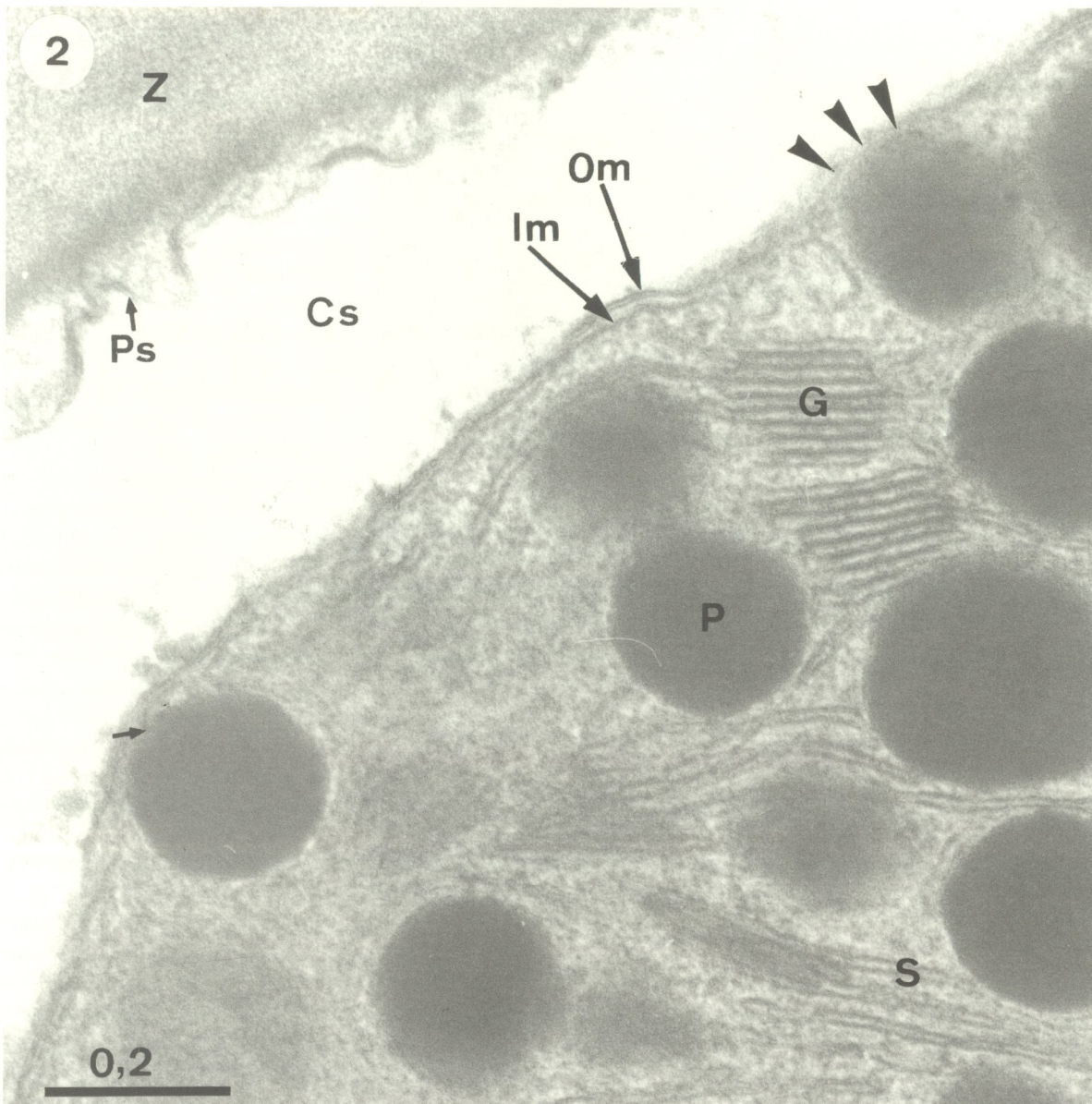


Abb. 2: Seneszenzbedingte Änderungen am Chloroplast (Ausschnitt) aus einem 53 Tage alten Primärblatt der Gerste: Zu erkennen sind ausgeprägte, in Grana- (G) und Stromabereiche (S) gegliederte Thylakoidmembranen und viele, grosse Plastoglobuli (P). Im Annäherungsbereich der Plastoglobuli an die Chloroplasten-Hüllmembran ist eine beginnende Auflösung sowohl der Inneren- (Im), als auch der Äusseren Hüllmembran (Om) zu erkennen (drei Pfeilspitzen). Darüber hinaus ist auch eine Verbindung der Inneren Hüllmembran mit einem Plastoglobuli sichtbar (kleiner Pfeil). Die Plasmamembran (Ps) begrenzt das Cytosol (Cs).

Zellwand (Z). Messbalken in μm . Promotionsarbeit Armin Springer; AG C. Reinbothe; Kooperation mit Lehrstuhl Pflanzenphysiologie Prof. E. Beck.



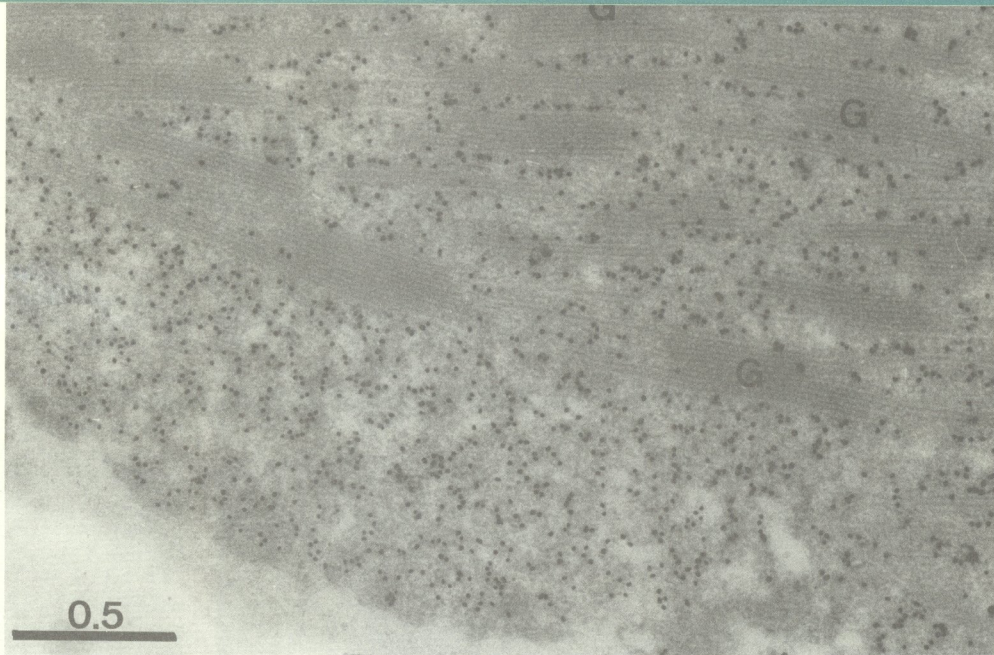


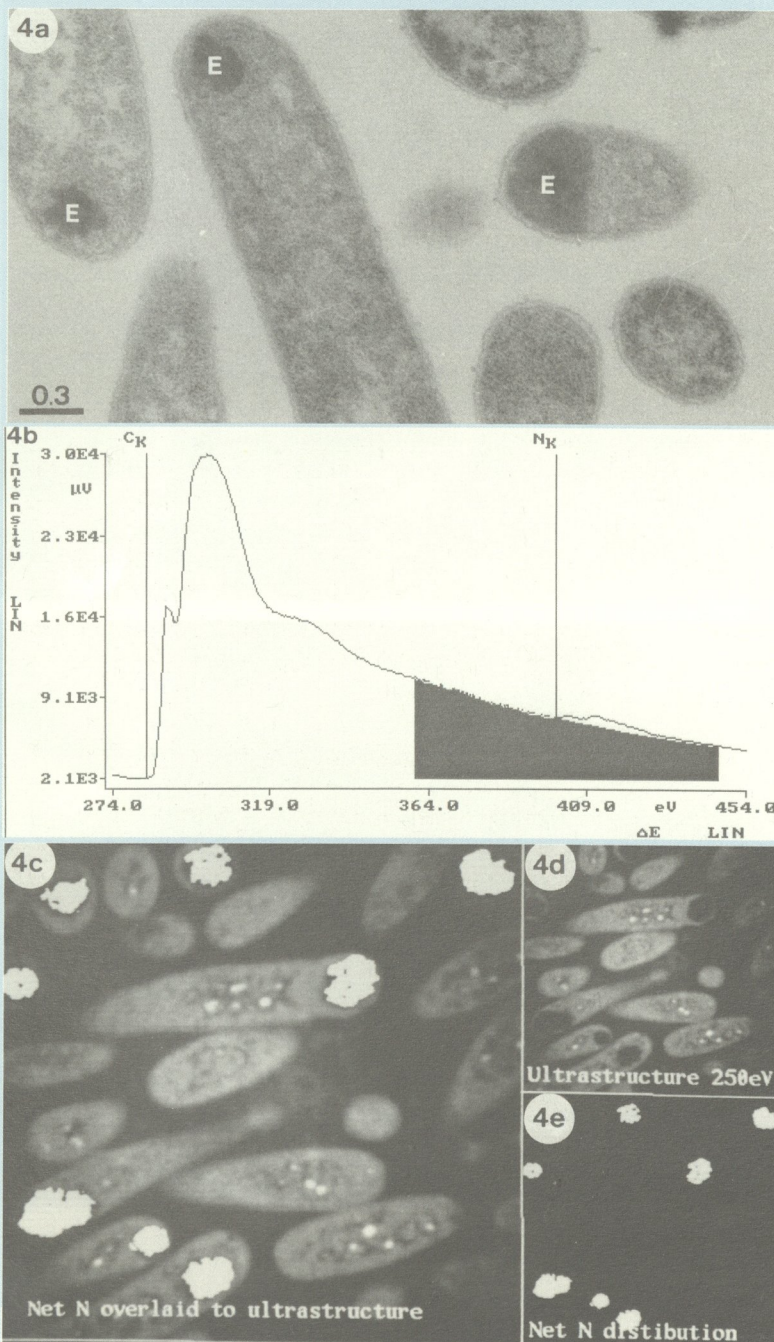
Abb. 3: Ultradiünnschnitt durch einen Chloroplasten der Eibe (*Taxus baccata*) nach Markierung des Enzyms Ribulose-1,5-Bisphosphatase mit der Immun-Gold-Methode. Der Immungoldmarker (schwarze Punkte) zeigt, dass das Enzym in dem Stromabereich des Chloroplasten lokalisiert ist. Granastapel (G). (Aufnahme: Dipl.-Biol. R. Türk)

Abb.4 a-d : Überproduktion eines Proteins in *Escherichia coli* Zellen.

(a): Zelleinschlüsse (E) in Ultradiünnschnitten genetisch veränderter *E. coli* Zellen

(b): Die Stickstoffkante (Nk) im Spektrum zeigt das überproduzierte Protein an.

(c, d, e) Mit einem Computerprogramm (ESI, electron spectroscopic imaging) wurde ein Netto-Elementverteilungsbild (e) erstellt und dem Ultrastrukturbild (d) überlagert, wobei der N weiß markiert erscheint (c). (Diplomarbeit Marion Ferner)



(Artefaktbildung?) mikroskopiert werden. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Elektronenmikroskopie der Fachgruppe Biologie recht gut ausgerüstet ist. Alle wichtigen Präparationsmethoden für biologische Objekte sind durchführbar.

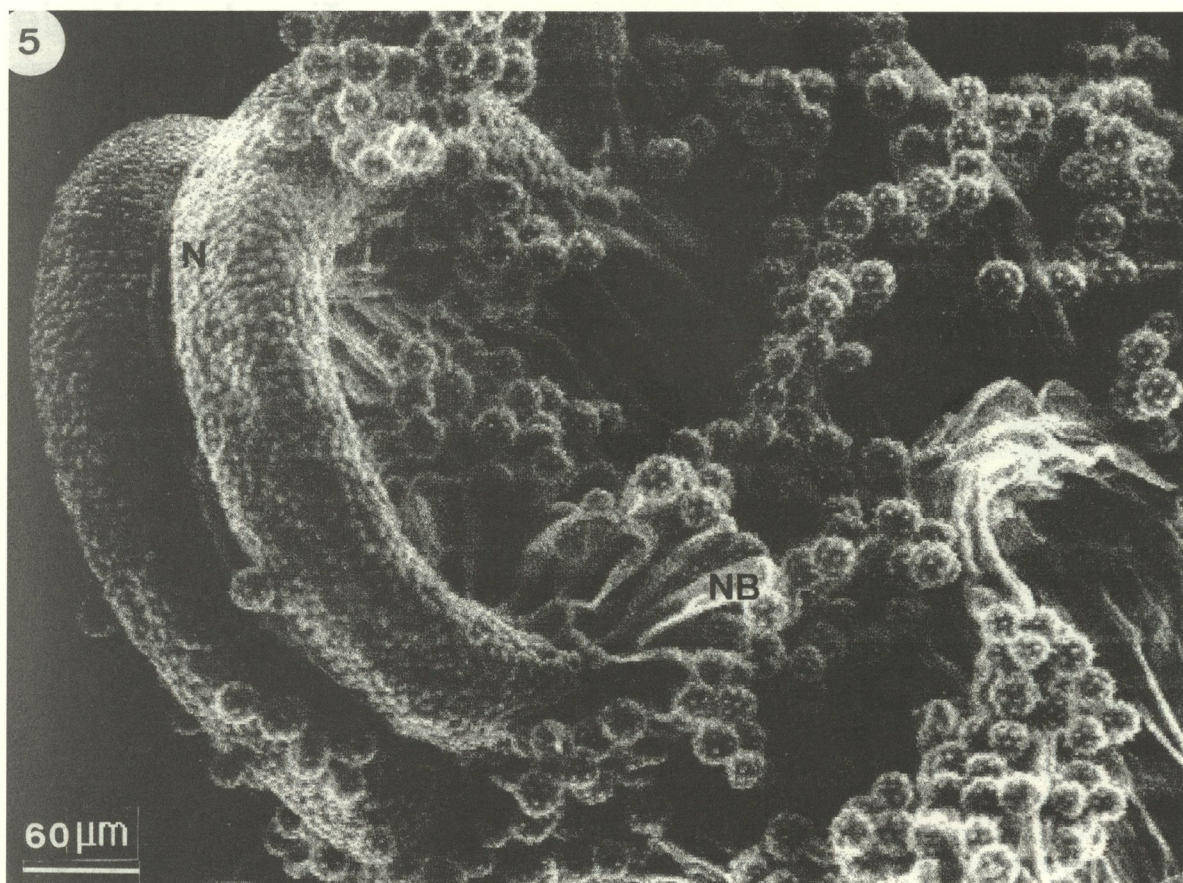
Der Leiter der Abteilung vertritt die Elektronenmikroskopie in der Lehre (V/Ü in Blockveranstaltungen) und betreut eigene Forschungsprojekte. Darüber hinaus berät bzw. betreut er gleichzeitig bis zu 7 Dipl., Drd. und wiss. Mitarbeiter aus den biologischen Lehrstühlen, die bei der Bearbeitung bestimmter Fragestellungen ultrastrukturelle, immunelektronenmikroskopische und elementanalytische (EELS/ESI) Untersuchungen durchzuführen haben.

In der Homepage (<http://www.uni-bayreuth.de/departments/emikroskopie>) sind weitere Details über Funktion & Organisation der Abteilung, Forschungsmöglichkeiten sowie repräsentative Beispiele für aktive & abgeschlossene Projekte aufgeführt.

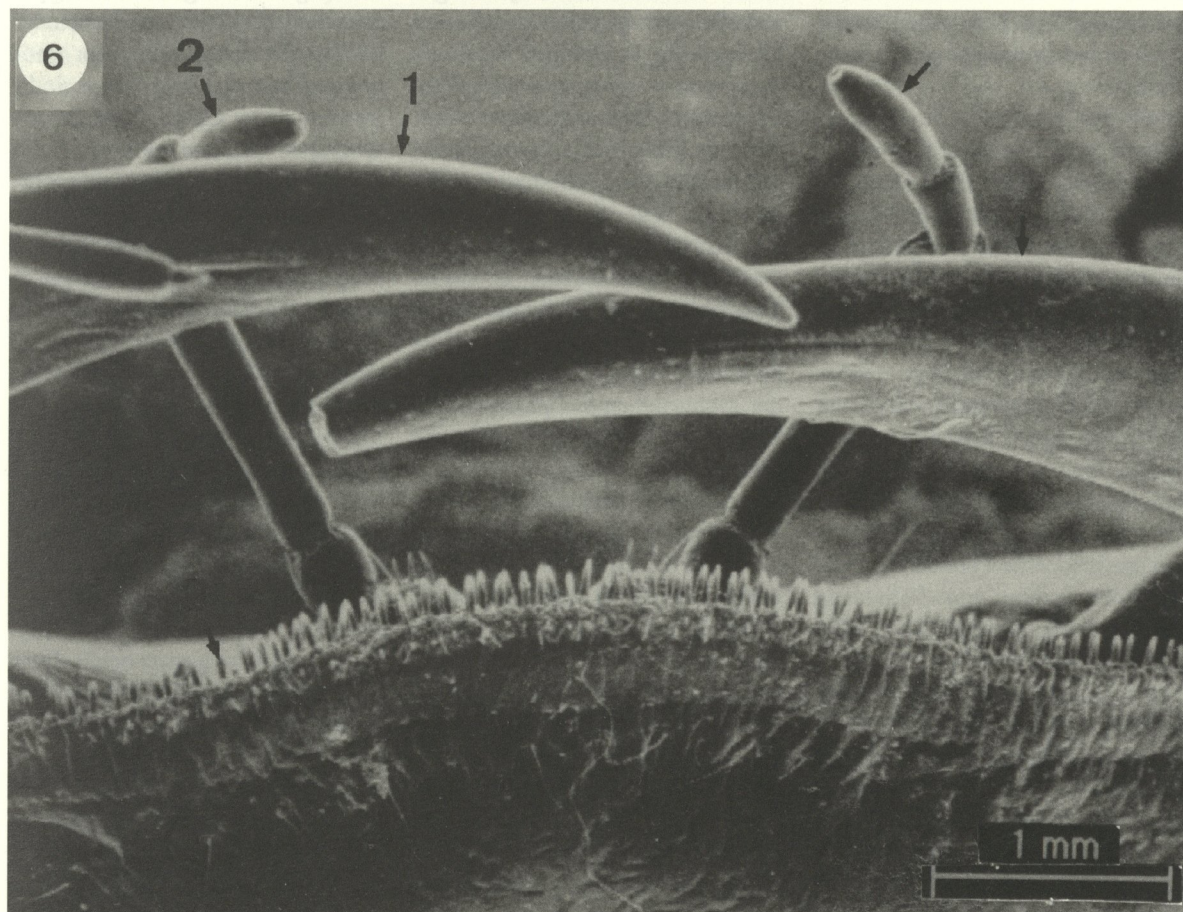
Nachstehend werden beispielhaftes Ergebnisse aus dem TEM- und ESEM-Bereich vorgestellt, die unter exzellenter technischer Betreuung und Beratung von Frau Rita Grotjahn erzielt wurden: (siehe Abb. 1-6)

Schlussbemerkungen (TEM, REM)

Namhafte Wissenschaftler beurteilen das Elektronenmikroskop als eine der wichtigsten Erfindungen des 20. Jahrhunderts. Die gewonnenen Erkenntnisse in der Biologie und Medizin, der Physik und den Materialwissenschaften sind nicht wegzudenken. Durch die Inbetriebnahme eines neuartigen Umwelt-Rasterelektronenmikroskops hat die Zentrale Abteilung für Elektronenmikroskopie den modernsten Stand der Technologie nun auch im REM-Bereich erreicht. Die Elektronenmikroskopie kann in der Lehre und Forschung angemessen vertreten werden. □



Röhrenblüte von *Chrysanthemum* sp. in ihrem natürlichen Zustand. Narbenäste und -büschel (NB); Pollenkörner. Umweltmikroskop Philips XL 30 ESEM LaB₆



Schwimmkäferlarve von *Dytiscus persicus*. Vorderende des Kopfes: Mandibeln 1; Palpen Unterlippe 2; Clipeus mit Clipealborsten 3. Das Unikat wurde ohne je gleiche Präparation untersucht und wird im Lehrstuhl Tierökologie II, Prof. K. Dettner, aufbewahrt. Umweltmikroskop Philips XL 30 ESEM LaB₆

Verhalten & Gesundheit

Dietrich von Holst

Zu den großen Fortschritten der Medizin des 20. Jahrhunderts hat zweifellos ihre naturwissenschaftliche Ausrichtung und die Aufklärung der physikalisch-chemischen Grundlagen der Erkrankungen beigetragen. In den letzten Jahrzehnten zeigen sich jedoch zunehmend die Grenzen dieser Medizin: In allen westlichen Industrienationen steigt der Anteil solcher Erkrankungen, an deren Entstehung und Ausbruch vorwiegend Umweltfaktoren beteiligt sind - und dazu gehören nicht nur Schadstoffe aus der Umwelt, sondern weit mehr das soziale Umfeld der Individuen. Das heißt: Zentralnervöse Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozesse können den Gesundheitszustand von Individuen entscheidend beeinflussen. Die Antwort der Medizin auf diese Situation war die Einführung grenzüberschreitender Disziplinen in das medizinische Curriculum, wie medizinische Psychologie, Sozialmedizin und Psychosomatik. Die Psychoneuroimmunologie ist das neueste dieser grenzüber-

schreitenden Forschungsgebiete zwischen Medizin, Psychologie und Verhaltensphysiologie: Sie untersucht die vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen dem Verhalten von Tier und Mensch und ihrem Immunsystem. Im folgenden soll anhand einiger Befunde an Tupajas gezeigt werden, inwieweit sich Kontakte mit Artgenossen auf ihre Vitalität auswirken.

Tupajas sind etwa eichhörnchengroße Säugetiere, die in ganz Südostasien weit verbreitet sind. In der Natur leben sie paarweise in Territorien, die die Männchen sehr heftig gegen andere Artgenossen verteidigen. Auch im Labor kann man Tupajas langfristig nur paarweise in einem Gehege zusammenhalten. Setzt man zu einem solchen Paar ein fremdes Männchen, so führt das zu heftigen Kämpfen zwischen den Männchen und innerhalb weniger Minuten zur Unterwerfung des Eindringlings.

Sobald die Dominanzbeziehungen geklärt sind, läßt der Sieger von weiteren Attacken ab und beachtet

den Verlierer kaum noch. Auch in den folgenden Tagen sind Kämpfe zwischen den Rivalen selten oder überhaupt nicht vorhanden, dennoch nimmt das unterlegene Individuum drastisch an Gewicht ab, wird apathisch und stirbt innerhalb weniger Tage, wenn es nicht rechtzeitig aus dem Gehege entfernt wird. Der Tod des unterlegenen Tieres ist hierbei nicht eine Folge von Verwundungen, da sich die Tiere - wenn überhaupt - nur oberflächliche Verletzungen beibringen, sondern er beruht auf der ständigen Anwesenheit des Siegers.

Trennt man nämlich beide Tiere nach dem Kampf durch eine undurchsichtige Trennwand voneinander, so erholt sich der Verlierer ebenso schnell vom Kampf wie der Sieger und stirbt nicht vorzeitig. Trennt man hingegen beide Tiere nach der Unterwerfung durch eine Gitterwand voneinander, so dass der Verlierer zwar nicht mehr attackiert werden kann, den „bedrohlichen“ Sieger jedoch ständig sieht, so zeigt er einen dramatischen Anstieg seiner Stresshormo-

ne Cortisol und Adrenalin sowie eine nahezu vollständige Hemmung aller Immunfunktionen und stirbt nach 1 - 2 Wochen. Anthropomorph gesprochen: Der Unterlegene stirbt an der andauernden Angst.

Wie stark sich psychische Prozesse selbst ohne irgendwelche aggressiven Auseinandersetzungen auf den Gesundheitszustand der Tiere auswirken können, zeigt eindrucksvoll ein anderer Befund. Wie wir aus Untersuchungen wissen, können Tupajas die Über- oder Unterlegenheit eines unbekannten Rivalen an seinem Geruch erkennen. Wir untersuchten daher die Auswirkungen der Anwesenheit eines unbekannten Rivalen auf Verhalten und physiologische Parameter von 40 männlichen Tupajas. Hierzu überführten wir im Anschluß an eine Blutentnahme jeweils 2 Männchen in einen durch eine undurchsichtige Trennwand in zwei spiegelbildliche Hälften unterteilten Versuchskäfig; die beiden Tiere einer jeden Dyade konnten sich daher nur hören und riechen. Am 10. und 20. Tag nach dem Umsetzen wurden den Tieren jeweils eine weitere Blutprobe entnommen; zudem wurde ihr Verhalten regelmäßig beobachtet und ausgewertet.

Am 21. - 23. Tag wurden dann die Tiere einer jeden Dyade täglich für jeweils 10 Minuten durch Entfernung der Zwischenwand miteinander konfrontiert; in der übrigen Zeit verblieben sie in ihren Käfighälften. Nach der letzten Konfrontation wurden sie dann in ihre Heimatkäfige zurückgebracht. Die Konfrontationen führten stets zu eindeutigen Dominanzbeziehungen zwischen den jeweils zwei Tieren einer Dyade. Anhand des Ausgangs der Konfrontationen wurden sodann alle Tiere in potentielle „Dominante“ und „Unterlegene“ eingeteilt und ihr Verhalten und ihre physiologischen Meßwerte während der 20 Tage vor den Konfrontationen miteinander verglichen.

In ihrem Verhalten unterschieden sich die später dominanten und unterlegenen Männchen insgesamt nur wenig voneinander: Im Gegensatz hierzu fanden sich bei den von uns erfaßten physiologischen Parametern deutliche Veränderungen, die sich bei den prospektiven Dominanten und Unterlegenen in ihrem Ausmaß und in ihrer Richtung unterschieden (Abbildung 1): Während sich die Konzentration des typischen Stresshormons Cortisol im Blut bei den „Dominanten“ nicht veränderte, stieg sie bei den „Unterlegenen“ auf mehr als das Doppelte an. Noch ausgeprägter waren die Effekte auf das Immunsystem: Während die Leistungsfähigkeit des Immunsystems bei den späteren Dominanten unverändert blieb oder sich sogar verbesserte, war bei den Individuen, die sich in den späteren Kämpfen als Unterlegene herausstellten, das Gegenteil der Fall.

Nach 6 Wochen wurde der Versuch mit 20 Tieren in einer neuen Kombination wiederholt - und zwar wurden 5 Dyaden aus ehemals dominanten sowie 5 Dyaden aus ehemals unterlegenen Männchen gebildet. Auch hier führten die Kämpfe wiederum zu klaren Dominanzbeziehungen und auch hier entsprachen die Veränderungen der Hormone und immunologischen Parameter bei Dominanten und Unterlegenen denen des ersten Versuches: Die Veränderungen sind somit ausschließlich Ausdruck der nach Einschätzung der Tiere zwischen ihnen herrschenden jeweiligen Dominanzbeziehungen und damit einhergehender emotionaler Prozesse.

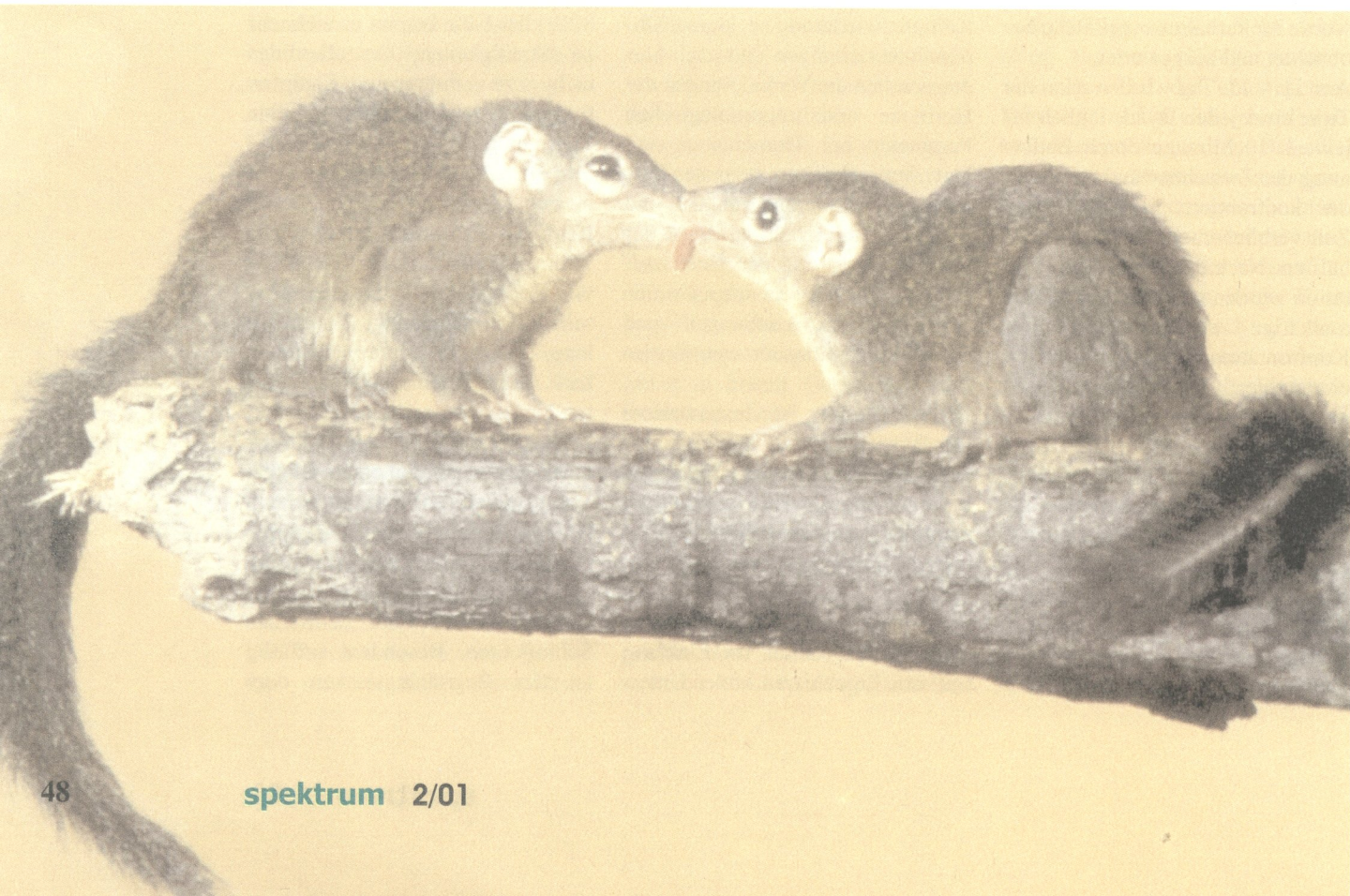
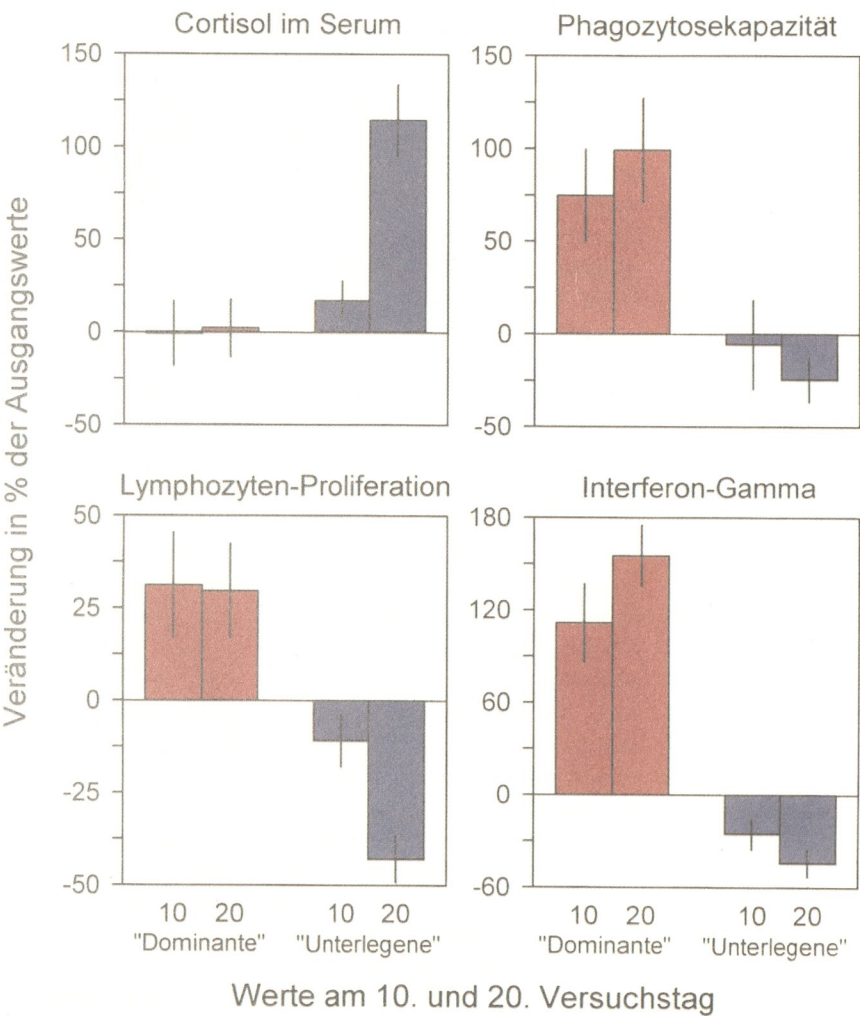
Hervorzuheben ist insbesondere die Bidirektionalität der immunologischen Veränderungen: Bei späteren Unterlegenen vermindern sich alle gemessenen immunologischen Parameter, was auf eine verminderte Leistungsfähigkeit des Immunsystems hinweist; dieser Befund steht damit im Einklang mit den Ergebnissen vieler Unter-

suchungen auch an anderen Tierarten einschließlich des Menschen. Überraschend ist jedoch, daß sich Situationen auch positiv auf immunologische Funktionen auswirken können, wie z.B. das „Wissen“ einer Dominanz bei den später dominanten Tupajas. Der Immunzustand eines Individuums - und damit auch seine Krankheitsanfälligkeit - kann sich daher je Situation bzw. den damit einhergehenden emotionalen Prozessen verbessern oder verschlechtern.

Die Auswirkungen aggressiver Auseinandersetzungen und daraus resultierender Dominanzbeziehungen auf das Immunsystem sind besonders auffällig, jedoch wirken sich auch andersartige Sozialbeziehungen auf den Gesundheitszustand der Individuen aus, wie anhand von Untersuchungen zur Paarbindung von Tupajas gezeigt werden soll.

Wie bereits erwähnt wurde, leben Tupajas in der Natur paarweise. Auch im Labor kann man erwachsene Tupajas nur paarweise zusammenhalten. Das Zusammensetzen eines Männchens mit einem Weibchen führt jedoch in der Regel nicht zu einer Paarbildung: In etwa 80% aller Fälle kommt es vielmehr zu Streitigkeiten, die allerdings nicht zu ernsteren Kämpfen führen; vielmehr versuchen beide Tiere möglichst jeder Konfrontation aus dem Wege zu gehen. Nur in den restlichen 20% der Fälle führt das Zusammensetzen eines Männchens mit einem Weibchen von Beginn an zu einer „harmonischen“ Paarbeziehung, die lebenslang (bis zu 10 Jahre) bestehen kann. Für den menschlichen Betrachter macht hierbei der Kontakt zwischen den Tieren den Eindruck einer „Liebe auf den ersten Blick“: Von Beginn an markieren sich beide Tiere immer wieder, tagsüber fressen und ruhen sie gemeinsam und nachts schlafen sie immer zusammen in ein und demselben Schlafkasten. Besonders auffällig ist das Begrüßungslecken oder

Abb. 1: Veränderung verschiedener physiologischer Parameter prospektiver dominanter und unterlegener Tupajas ohne physischen Kontakt miteinander. Die Phagozytosekapazität ist ein Maß für die Fähigkeit der Fresszellen des Immunsystems, eingedrungene Erreger zu zerstören. Die Lymphozyten-Proliferation bestimmt die Fähigkeit der T-Lymphozyten, sich bei Anwesenheit von Erregern zu teilen, um sie dann zu zerstören. Interferon-Gamma ist eine von den Zellen des Immunsystems gebildete Substanz, die u.a. an der Zerstörung von Tumorzellen und der Abwehr von Krankheitserregern beteiligt ist. Unterschiede zwischen den Werten der „Dominanten“ und „Unterlegenen“ sind stets signifikant ($p < 0.01$). unten: Tupaja-Paar beim „Küssen“ (Abb. 2).



„Küssen“, das die Tiere bis zu mehr als 1 Stunde täglich zeigen können. Hierbei stößt ein Tier seinem Partner mit der Schnauze leicht in den Mundwinkel und leckt dann den in großen Tropfen abgegebenen Speichel von dessen Schnauze ab (Abbildung 2).

Unharmonische Paare zeigen keine dieser für harmonische Partner typischen Verhaltensweisen, dennoch können sie - zum Teil sogar ohne irgendein Anzeichen von Aggression - zusammen leben. Im Gegensatz zu harmonisch verpaarten Individuen haben sie jedoch eine deutlich verminderte Gonadenfunktion und bekommen nur sehr selten Junge, die sie zudem - im Gegensatz zu harmonisch verpaarten Individuen - niemals aufziehen.

Erstaunlicherweise beruht die Qualität einer Paarbeziehung ausschließlich auf individuellen Sympathien oder Antipathien zwischen den Tieren. So kann zum Beispiel ein Männchen, das von dem einen Weibchen heftig attackiert und abgelehnt wurde, von einem anderen sofort als Partner akzeptiert werden.

In dem folgenden Versuch wurden jeweils 11 Weibchen einmal für 10 Tage mit einem Männchen zusammengesetzt, das sie ablehnte, und einmal mit einem Männchen, das sie als Partner akzeptierte. Die Verpaarungen hatten neben deutlichen Auswirkungen auf das Verhalten beider Tiere die verschiedensten endokrinen und immunologischen Veränderungen zur Folge (Abbildung 3), die je nach Qualität der Verpaarung entgegengesetzt verliefen: Eine harmonische Verpaarung führte bei beiden Geschlechtern (Weibchen hier nicht dargestellt) zu einer Verbesserung der immunologischen Widerstandskraft und des übrigen Zustandes der Tiere, eine unharmonische zu einer Verschlechterung.

Zusammenfassend zeigen diese Ergebnisse: Immunfunktionen von Tieren können je nach sozialer Situation verbessert oder verschlechtert werden. Die Immunmodulation wird hierbei primär durch emotionale Prozesse ausgelöst, die auf der Bewertung der Situation durch die Individuen beruhen. Wie diese und andere Untersuchungen unseres Lehrstuhls (u.a. auch an

Ratten und Wildkaninchen) sowie vielfältige Befunde anderer Arbeitsgruppen zeigen, können diese immunologischen Veränderungen nicht nur den Ausbruch der vielfältigsten Erkrankungen einschließlich der Entstehung von Tumoren bei Tier und Mensch begünstigen, sie beeinflussen auch ganz entscheidend den Verlauf von Erkrankungen und können im Extremfall sogar zum Tod der Tiere führen. Ein besseres Verständnis des Verhaltens der Tiere einschließlich der Verarbeitungsprozesse im Gehirn und der dadurch ausgelösten psychischen und physiologischen Prozesse ist daher ohne Zweifel eine der wichtigsten Herausforderungen der zukünftigen Forschung. Eine derartige Forschung setzt eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen Medizin, Psychologie und Zoologie voraus, wobei Erkenntnisse der Verhaltensforschung, Neurobiologie und Immunologie miteinander verknüpft werden müssen. □

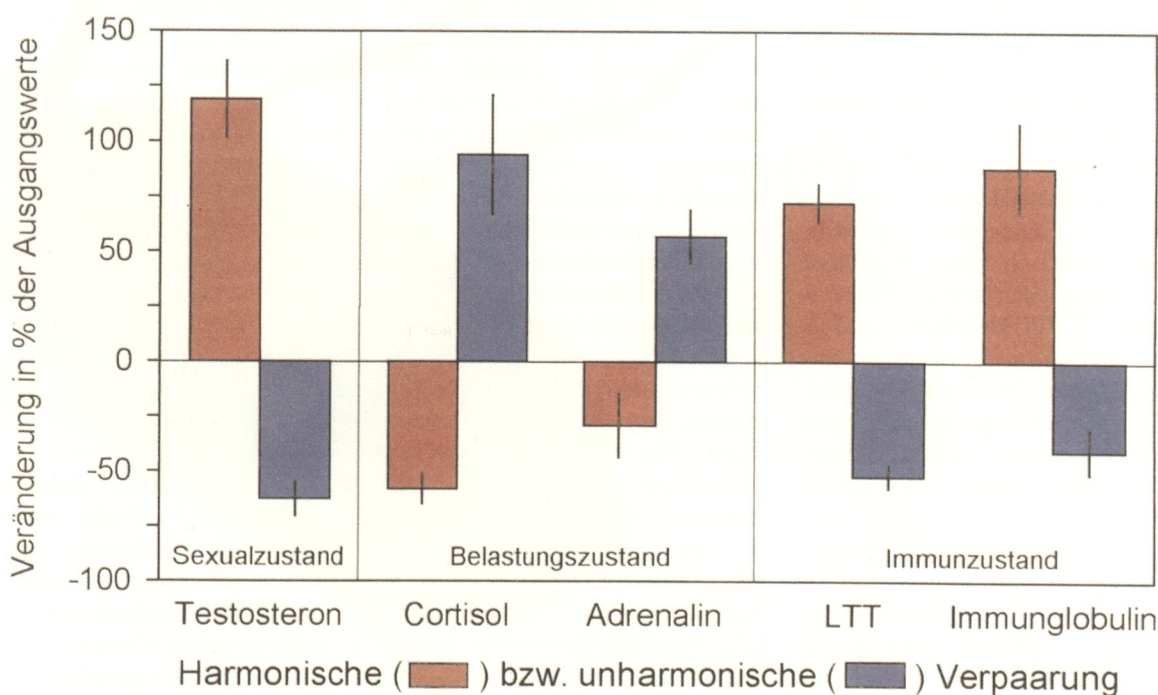
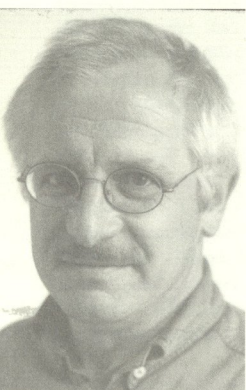


Abb. 3: Veränderungen verschiedener physiologischer Parameter männlicher Tupajas nach einer 10tägigen harmonischen bzw. unharmonischen Verpaarung. Abkürzungen: Testosteron (männliches Geschlechtshormon), die Stresshormone Cortisol und Adrenalin sowie Immunglobulin (G) sind Serumwerte. LTT gibt die Lymphozytenproliferation an. Die Unterschiede aller hier dargestellten Werte sind bei den Tieren in unharmonischer bzw. harmonischer Verpaarung stets hoch signifikant voneinander verschieden ($p < 0.001$).

Cantharidin, ein besonderer Saft

Konrad Dettner



Konrad Dettner,
Lehrstuhl für Tierö-
kologie II

Neben dem Studium von Lebensgemeinschaften zwischen symbiontischen Mikroorganismen und Gliedertieren, der Ökologie von Wasserinsekten oder den Wechselbeziehungen zwischen insektenresistenten transgenen Pflanzen und Insekten bilden Untersuchungen zur chemischen Ökologie einen wichtigen Forschungsschwerpunkt am Lehrstuhl für Tierökologie II. Die chemische Ökologie oder Chemoökologie (auch ökologische Biochemie) befasst sich mit Wechselbeziehungen zwischen Organismen, welche auf chemischen Signalen beruhen. Diese Naturstoffe dienen der Geschlechterfindung, wirken steuernd bei symbiontischen und parasitischen Beziehungen oder sind bei Räuber-Beute-Beziehungen von Bedeutung. Die chemische Ökologie bemüht sich darum, Kenntnisse über diese chemischen Signale zu gewinnen, ihr Vorkommen und ihre Funktion zu ergründen und ihre ökologische Bedeutung zu erfassen. Eine wichtige Aufgabe dieser jungen Forschungsdisziplin besteht auch darin, technische Verfahren zur selektiven, umweltschonenden Schädlingsbekämpfung zu entwickeln.

Die vielfältigen Facetten der chemischen Ökologie sollen an der „Chemiewaffe“ der Ölkäfer und Schenkelböcke, dem von uns un-

tersuchten Cantharidin erläutert werden. Dieses äußerst giftige Terpenanhydrid wird in der Natur ausschließlich von Ölkäfern (Meloidae) und Schenkelböcken (Oedermeridae) produziert. Bei Bedrohung scheiden diese Käfer an bestimmten Körperstellen cantharidinhaltiges Blut aus. Durch dieses sogenannte Reflexbluten sind sie vor dem Gefressenwerden geschützt. Zudem signalisieren sie ihre Giftigkeit potentiellen Räu- bern durch ihre Warnfarbe

(Abb. 1). Beim Menschen und anderen

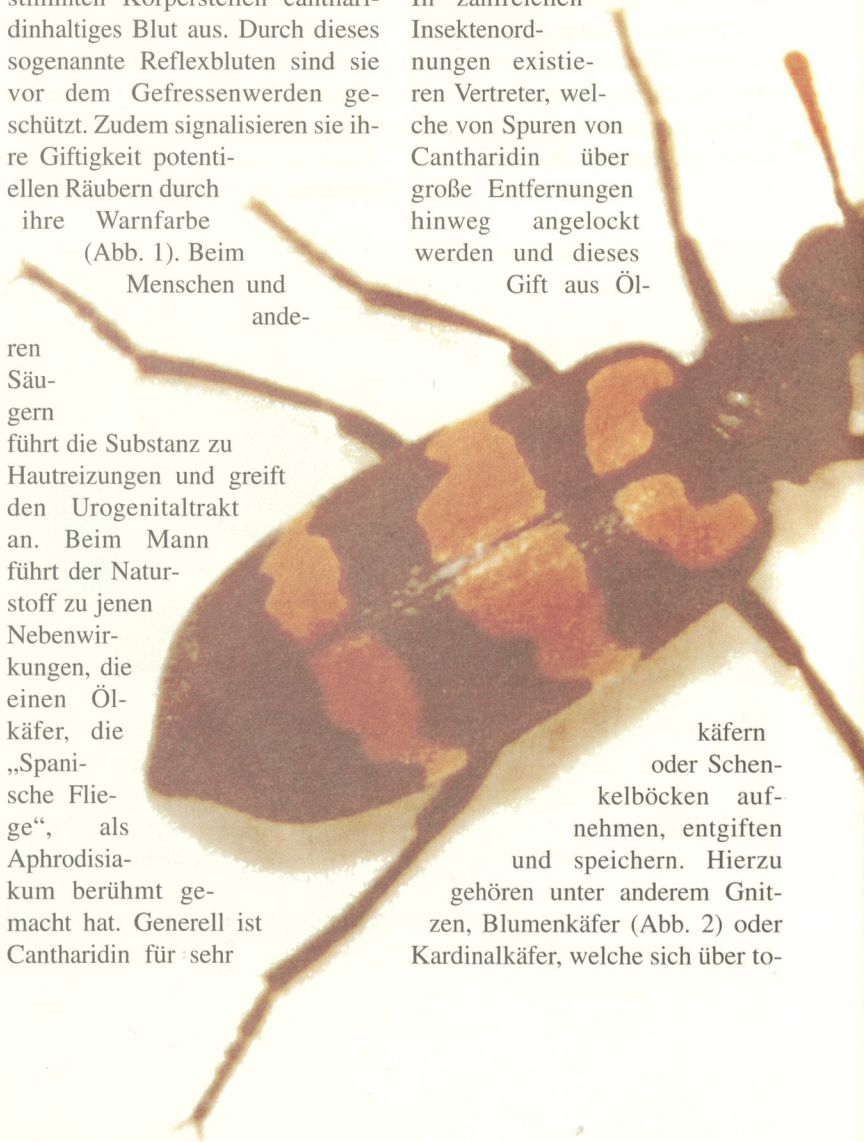
ren Säugern führt die Substanz zu Hautreizungen und greift den Urogenitaltrakt an. Beim Mann führt der Naturstoff zu jenen Nebenwirkungen, die einen Ölkäfer, die „Spanische Fliege“, als Aphrodisiakum berühmt gemacht hat. Generell ist Cantharidin für sehr

viele Organismen ein in geringsten Dosen tödliches Gift. Die Giftwirkung des Terpens beruht darauf, daß ein wichtiges Enzym im Zellstoffwechsel aller höheren Organismen (Proteinphosphatase) gehemmt wird.

In zahlreichen Insektenordnungen existieren Vertreter, welche von Spuren von Cantharidin über große Entfernungen hinweg angelockt werden und dieses Gift aus Öl-

käfern oder Schenkelböcken aufnehmen, entgiften und speichern. Hierzu gehören unter anderem Gnitzen, Blumenkäfer (Abb. 2) oder Kardinalkäfer, welche sich über to-

Abb. 1:
Der Ölkäfer *Hycleus spec.* warnt durch seine Färbung mögliche Freßfeinde. Er produziert Cantharidin, eine potente chemische Waffe.



te Ölkäfer oder deren Kot hermachen, aber auch lebende Tiere anbohren oder diese ansaugen, um in den Besitz dieser kostbaren Substanz zu kommen. Durch ihr verändertes Verhalten werden sie jagdlustiger und sind zur Paarung bereit. Diese „Drogenfresser“ oder pharmakophagen Insekten können sich durch die aufgenommene Droge ebenfalls vor Räubern schützen. Außerdem kann der giftige Wirkstoff an Eier, Larven- und Puppenstadien bis zur Imago „weitergereicht“ werden, denn man kann den Weg dieser Verbindung mit markiertem Cantharidin genau verfolgen. Hierdurch ist gewährleistet, dass auch normalerweise ungeschützte Entwicklungsstadien wie Eier oder Puppen einen effektiven chemischen Schutz aufweisen.

Schließlich wird das wertvolle Gift von vielen dieser „canthariphilen“ Insekten bei der Begattung als „Hochzeitsgeschenk“ auf den Geschlechtspartner übertragen, denn die männlichen Anhangsdrüsen fungieren als eine Art „Cantharidinniere“ und speichern den im Blut zirkulierenden Wirkstoff. Nur wenn das Männchen genügend Cantharidin vorweisen kann, wird es vom Weibchen ausgewählt und darf mit diesem kopulieren. Da

das Hochzeitsgeschenk vom Weibchen direkt in die Eier eingebaut wird, sichern die Männchen auf diese Weise das Überleben ihrer eigenen Nachkommen.

Das giftige Terpen Cantharidin ist auch unter angewandten Aspekten aus mehreren Gründen für Biologen und Chemiker interessant:

Es blockiert quer durch das Tierreich von der Fruchtfliege bis zum Menschen in jeder Zelle das lebensnotwendige Enzym Proteinphosphatase. Auch bei Pflanzen entfalten che-



misch ähnliche Verbindungen wie das Cantharidin eine Giftwirkung und können deshalb als Herbizid eingesetzt werden. Folglich lohnt es sich, die Wirkungsweise dieser biologisch äußerst aktiven Substanzen zu studieren, die sowohl auf Tiere als auch auf Pflanzen wirken.

Drogensüchtige Insekten wie die canthariphilen Arten sind in der Natur außerordentlich selten und überdies befinden sich darunter nur wenige Schädlinge. Eine wirkungsvolle Bekämpfungsmethode dieser Tiere besteht darin, sie gezielt mit Cantharidinfallen über größere Entfernungen hinweg anzulocken und anschließend abzutöten. Diese selektive und umweltschonende Bekämpfungsstrategie wird derzeit bei bestimmten Trauermücken (Sciaridae) erprobt, die Cantharidinquellen anfliegen. Es handelt sich hierbei um kleine schwarze Mücken, die beim Gießen über dem Blumentopf auffliegen.

Diese Insekten sind Lästlinge in Gewächshäusern, die auch in Pilzkulturen erhebliche Schäden anrichten können.

Der Naturstoff Cantharidin sowie ähnlich gebaute Verbindungen werden sicher noch viele Überraschungen bereithalten, wenn es darum geht, deren Rolle im Ökosystem zu verstehen oder ihr Potenzial für den Pflanzenschutz und die Pharmaforschung zu nutzen. □

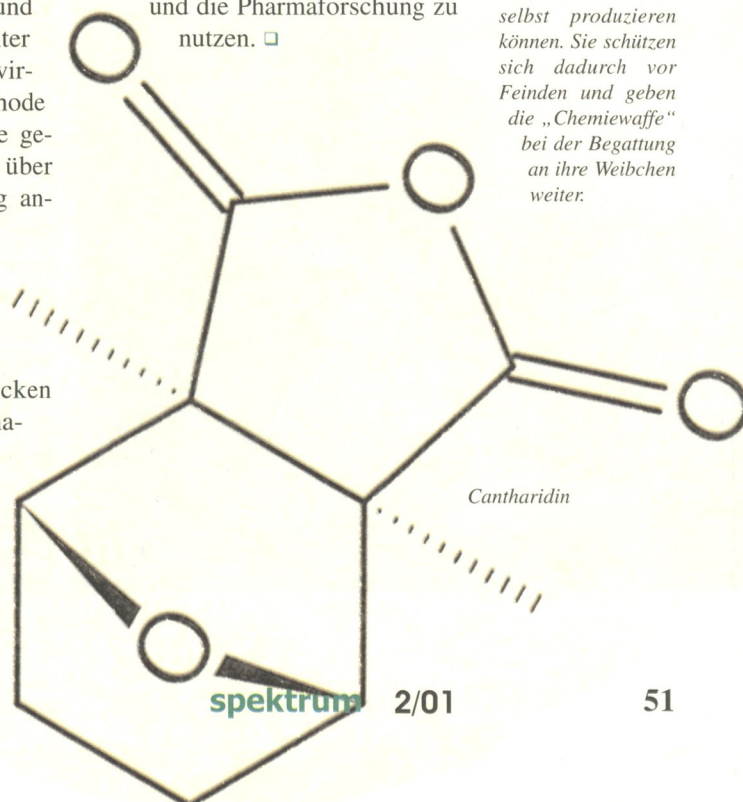


Abb. 2:

„Drogensüchtige“, von im Filterpapier enthaltenen Spuren des Cantharidins angelockte männliche Blumenkäfer (Anthicidae) der Art *Notoxus monoceros*. In der Natur holen sich die Tiere von cantharidinhaltigen toten oder lebenden Ölkäfern bzw. deren Kot, was sie nicht selbst produzieren können. Sie schützen sich dadurch vor Feinden und geben die „Chemiewaffe“ bei der Begattung an ihre Weibchen weiter.

Ein neues Graduiertenkolleg

Klaus H. Hoffmann

Graduiertenkollegs sind Einrichtungen der Hochschulen zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. DoktorandInnen erhalten die Möglichkeit, ihre Arbeit im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprogramms durchzuführen. Ein zusätzliches Studienprogramm gewährleistet ein breites Verständnis für den Wissenschaftszweig, in dem die Arbeit entsteht. Seit 1. April 2001 fördert die Deutsche Forschungsgemeinschaft das Graduiertenkolleg 678 an der Universität Bayreuth,

Seit seiner Einrichtung im Jahre 1975 hat das Fach Biologie an der UBT einen Schwerpunkt in der Ökologie. Dieser Schwerpunkt war in den zurückliegenden Jahren sehr erfolgreich, was an der Anzahl von durch Drittmittel geförderten Verbundforschungsprojekten zum Ausdruck kommt. Das neue Gra-

duiertenkolleg schafft einen Ausbildungsschwerpunkt auf dem Gebiet der Chemischen Ökologie und Ökophysiologie von Insekten, mit einer Brückenbildung zwischen den Bereichen Ökologie, Naturstoffchemie und Zell- und Molekularbiologie.

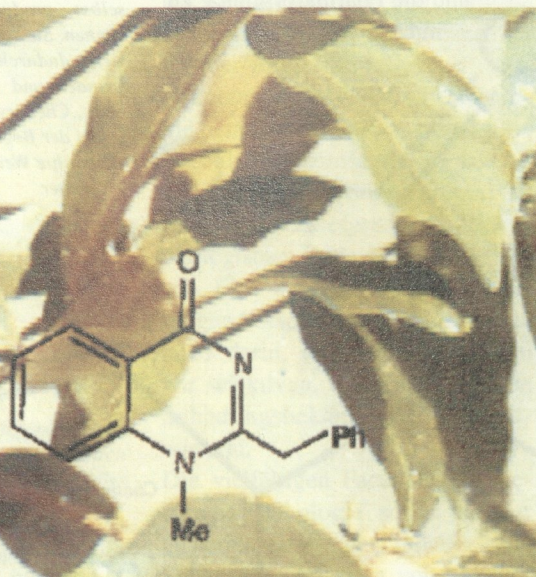
Dynamische Prozesse in Ökosystemen werden durch Kommunikationsvorgänge physikalischer und chemischer Natur aufrechterhalten. Signalgebung mittels chemischer Strukturen ist eine universelle Eigenschaft lebender Organismen. Chemische Wechselbeziehungen bestimmen das Zusammenwirken von Zellen und Organen genauso wie das Zusammenleben der Organismen im Ökosystem. Die Aufklärung von Strukturen und Funktionsweisen von Wirk- und Signalstoffen, die entweder aus Insekten selbst stammen oder in den Wechselbeziehungen zwischen Pflanzen und Insekten eine Rolle spielen, bilden die thematische Grundlage des Graduiertenkollegs, das sich in zwei Projektbereiche gliedert.

Im Netzwerk eines Ökosystems erfolgen Informationsübertragungen u.a. durch intra- und interspezifische Signalstoffe, die als Pheromone bzw. Allelochemikalien bezeichnet werden. Die Strukturaufklärung solcher Signale und die molekulargenetischen Grundlagen ihrer Synthese stehen im ersten Projektbereich im Vordergrund.

Nachdem sich die chemische Ökologie in den letzten Jahren eher mit flüchtigen, als Pheromone oder Allomone wirkenden Verbindungen beschäftigt hat, gilt das Interesse neuerdings vermehrt der ökologischen Bedeutung schwerer flüchtiger Substanzen. So enthält die Hämolymph einiger Käfer eher polare Wirkstoffe, wie z. B. Cantharidin. Dieses als Proteinphosphatasehemmer bekannte Toxin wird während der Kopula vom Männchen ins Weibchen transferiert und anschließend in die Eier eingelagert, was zu einer Erhöhung ihrer Überlebensfähigkeit führt. Im Projekt von Professor Konrad Dettner wird untersucht, auf welchem Wege das vom Männchen übertragene Toxin bei Ölkäfern oder Schenkelsböcken in die Eier gelangt und inwieweit es den Hormonhaushalt und die Dotterproteinbildung im Weibchen modifiziert.

Zu den hämolymphbürtigen Inhaltsstoffen gehören auch die chemisch ungewöhnlichen Bitterstoffe (Buprestine) aus Prachtkäfern (Buprestidae), die im Projekt von Professor Carlo Unverzagt untersucht werden. Im Projekt von Professor Klaus H. Hoffmann werden Pflanzeninhaltsstoffe aus verschiedenen subtropischen Pflanzenarten isoliert und charakterisiert (Bild 1), die eine Wirkung auf die Juvenilhormon- und Häutungshormonbiosynthese bei potentiellen Schadin-

Bild 1:
Das Alkaloid Arborin
wurde aus Blättern
von *Glycosmis pentaphylla* isoliert



sekten zeigen und als Insektenwachstumsregulatoren in der Schädlingsbekämpfung Einsatz finden könnten.

Eines der faszinierendsten Gebiet der Chemischen Ökologie befasst sich mit den Aspekten der durch herbivore Insekten induzierten Pflanzenabwehr. Im Projekt von Professor Karlheinz Seifert wird die Induktion von Pflanzenduftstoffen als Reaktion auf Herbivorenfraß an Rizinus und Rainfarn untersucht.

Genetische und molekularbiologische Untersuchungen an Insekten wurden bisher überwiegend am Modellorganismus *Drosophila* durchgeführt. Dr. Ernst Wimmer gelang es, ein universelles Transformationssystem zu etablieren, das auf Transposons basiert und erfolgreich zur Generierung transgener Schwarzkäfer eingesetzt wurde (Bild 2). Nun soll eine Transposon-Mutagenese an Schwarzkäfern angewendet werden, um Gene zu identifizieren, die in Duft- und Wehrsekretedrüsen der Käfer aktiv sind und deren Morphologie und Funktion steuern.

Der zweite Projektbereich beschäftigt sich verstärkt mit den Wirkungsmechanismen der Signalstoffe. Der Rainfarn dient mehreren Blattlausarten als Wirtspflanze, an der sie Phloemsaft saugen. Im Projekt von Prof. Ewald Komor soll geklärt werden, ob und wie ein Befall durch Blattläuse beim Rainfarn eine systemische Abwehrreaktion hervorruft. Im Vordergrund steht dabei die Analyse von Peptiden und Phytotoxinen im Siebröhrensaft. Das Vorhaben steht in engem Zusammenhang zum Projekt von Privatdozent Wolfgang Völkl, in dem die mutualistische Nahrungsbeziehung zwischen Blattläusen und Ameisen verfolgt wird (Bild 3). Bei Blattlaus-Ameisen-Interaktionen übt die Zuckerzusammensetzung des Honigtaus einen Einfluß auf die Intensität der Bindung aus. Untersucht werden hier die physiologischen Grundlagen der

Zuckerumwandlung im BlattlaUSDarm und der Signalwahrnehmung durch die Zielorganismen.

Mutualistische Nahrungsbeziehungen stehen auch im Projekt von Professor Konrad Fiedler im Vordergrund. Die meisten Arten der Tagfalterfamilie der Bläulinge leben in späten Larvenstadien in Vergesellschaftung mit Ameisen. Dabei dient das dorsale Nektarorgan der Raupen als myrmekophiles Organ. In diesem Vorhaben soll die Bedeutung intra- und interspezifischer Variabilitäten in der Nektarzusammensetzung für die Stabilität, Intensität und Spezifität mutualistischer Beziehungen bestimmt werden. Bei intra- und interspezifischen Interaktionen von Insekten spielen häufig Oberflächenpheromone, d. h. epikutikuläre Kohlenwasserstoffe eine Rolle. Bei sozialen Insekten können sich solche chemische Abzeichen in Abhängigkeit von der jeweils ausgeübten Tätigkeit ändern. Im Projekt von Dr. Manfred Kaib wird der Frage nachgegangen, inwieweit bei Ameisen endokrine Parameter die Arbeitsteilung beeinflussen und Veränderungen des kutikulären Kohlenwasserstoffmusters auslösen.

Von den Metaboliten des Primär- und Sekundärstoffwechsels, die durch Pflanzen abgegeben werden, sind jene ökologisch besonders interessant, die bei Tieren eine Verhaltensänderung hervorrufen. So legt die Bohrflye *Urophora* in einem zeitlich engen Fenster ihre Eier im Stengel der Ackerdistel ab, wodurch die Bildung einer Galle induziert wird. Im Projekt von Professor Erwin Beck soll geklärt werden, durch welche Signale das legebereite Weibchen zum richtigen Zeitpunkt an den Ort für die Eiablage geführt wird. Blattwespen sind wichtige Fraßschädlinge an vielen Kulturpflanzen und Waldbäumen. An Weiden (*Salix*) induzieren verschiedene Arten Gallen. Im Projekt von Prof. Gerhard Rambold werden biochemische Fakto-



Bild 2:
Transgene Schwarzkäfer können aufgrund ihrer grün-fluoreszierenden Augen erkannt werden (© A. J. Barghammer)

ren zur Steuerung der Wirtspflanzenwahl gallenerzeugender Blattwespen untersucht. Nachtaktive Nektareulen nutzen die stark duftenden Blüten verschiedener Leimkraut - Arten nicht nur als Nektarquelle, sondern auch zur Eiablage. Im Projekt von Dr. Andreas Jürgens soll die Signalkette aufgeklärt werden, die zur artspezifischen Blütenerkennung durch den Falter führt.

Mit einem wissenschaftlichen Kolloquium am Samstag, 14. Juli 2001 wird das Graduiertenkolleg offiziell eröffnet. □

Bild 3:
Eine Lasius niger-Arbeiterin sammelt Honigtau bei Metopeurum fuscoviride.



Tropische Artenvielfalt

Konrad Fiedler

Die enorme Artenvielfalt tropischer Regenwälder ist heute durch die Medien weithin bekannt.

Wer dabei aber nur an üppig wachsende Pflanzen, bunte Vögel oder fernsehwirksam agierende Säugetiere denkt, übersieht die mit Abstand größte Fraktion der Artenvielfalt: die wirbellosen Tiere und hier speziell die Insekten. Mindestens fünf Millionen Insektenarten leben auf der Erde - aber gerade in den Tropenregionen sind selbst scheinbar einfache Fragen, etwa nach der Zahl der Bienenarten in einem Wald, nach heutiger Kenntnis nicht beantwortbar. Am Beispiel der Schmetterlinge (Tag- und Nachtfalter) versuchen wir in der Abteilung Populationsökologie am Lehrstuhl Tierökologie I, Antworten auf die im Titel skizzierten Fragen zu erarbeiten.

Prof. Dr. Konrad Fiedler, Lehrstuhl für Tierökologie.

Schmetterlinge dienen dabei aus drei Gründen als Modelle: erstens sind sie unter den tropischen Insekten noch am besten bekannt und damit einer Bearbeitung zugänglich; zweitens besteht über die Nahrungspflanzen der Jugendstadien (Raupe) und oft auch über den Bedarf an Blütennektar eine enge Beziehung zwischen Schmet-

ter-
lin-
gen

und der Vegetation

ihres Lebensraumes; und drittens existieren bewährte, zuverlässige Methoden zur Erfassung der Artengemeinschaften.

Hauptsächlich nutzen wir bei der Arbeit im Gelände die Lockwirkung UV-haltiger Lichtquellen auf nachtaktive Insekten. Oft fliegen selbst an schwache 15-W-Leuchten an einem Abend viele Hundert Falter und andere Insekten an. Daneben kommen auch Köderfallen - beispielsweise mit überreifen Bananen bestückt - zum Einsatz. Beide Methoden sind selbst in unwegsamen Bergregionen oder im Kronenraum der Wälder ohne großen logistischen Aufwand flexibel einsetzbar.

Anhand unserer Erhebungen müssen wir zunächst den Artenreichtum, die Diversität der Gemeinschaften, quantitativ erfassen. Unschätzbar wertvolle Hilfe leisten dabei die Vergleichssammlungen großer naturkundlicher Forschungsmuseen im Inland (München, Stuttgart, Bonn, Berlin) wie Ausland (London, Washington). Die artgenaue Bestimmung setzt Expertenwissen in Taxonomie und

Systematik voraus, jenen biologischen Teildisziplinen, die die Beschreibung der Organismen und Aufdeckung ihrer Verwandtschaftsverhältnisse zum Ziele haben.

Aber in vielen Fällen stoßen wir hier an Grenzen: oft ist ein erheblicher Anteil (bis über 30 %) der aufgefundenen Arten noch nicht einmal wissenschaftlich beschrieben und benannt. Hier müssen wir uns zunächst mit vorläufigen Artabgrenzungen begnügen. Auf der Grundlage dieser Auswertungen

können wir dann mit geeigneten mathematischen Verfahren die

Arten-
vielfalt
der be-
probten

Habitate quantitativ bestimmen und unabhängig von weiteren Einflußgrößen untereinander vergleichen. Dabei gehen die Artenzahlen oft in die Hunderte: im Mount-Kinabalu-Nationalpark auf Borneo beispielsweise beobachteten wir im Rahmen eines

Dryas julia

Rhodochlora roseipalpis

mehrfährigen DFG-geförderten Projektes über 850 Arten allein in der Kleinschmetterlingsgruppe der Zünsler, an jedem einzelnen Standort traten davon 200-400 Arten auf.

So wichtig als Grundlage die Erfassung und Beschreibung der Diversitätsmuster auch ist: für unsere Fragestellungen ist dies erst der Anfang. Wir wollen zum Beispiel kleinräumig analysieren, wo genau in tropischen Waldökosystemen die Artenvielfalt besonders groß ist. Untersuchungen des Kronenraums von Wäldern in Borneo ergaben, daß keineswegs - wie in der Literatur oft vermutet - dort der Artenreichtum stets am größten ist.

Vielmehr zeigen verschiedene Schmetterlingsgruppen je nach ihren ökologischen Ansprüchen sehr unterschiedliche Schichtungen auf. Zuweilen ist der Artenreichtum im Waldunterwuchs sogar deutlich größer als im struktur- und blütenreicheren Kronenraum. Derzeit bearbeiten wir besonders intensiv die Schmetterlinge in Bergwaldgebieten Südecuadors. Im Rahmen der neu gegründeten, überregionalen DFG-Forscherguppe „Funktionalität in einem

südecuadorianischen Bergregenwald“ erforschen zwei Mitarbeiter, Gunnar Brehm und Dirk Süßenbach, die Abhängigkeit der Nachtfalter von Umweltbedingungen, die sich in diesem steilen Gelände sehr rasch mit der Höhenlage ändern. In komplexen und vielfältigen Lebensräumen wie Bergregenwäldern, die sich einem direkten experimentellen Zugriff weitgehend entziehen, bieten Studien entlang von Umweltgradienten eine der besten Möglichkeiten, Einblick in kausale Zusammenhänge zu gewinnen.

Dazu bedarf es einer engen interdisziplinären Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern aus anderen Fachgebieten, wie wir sie im Rahmen der Forschergruppe vereinigt haben: Botanik, Vegetationskunde,

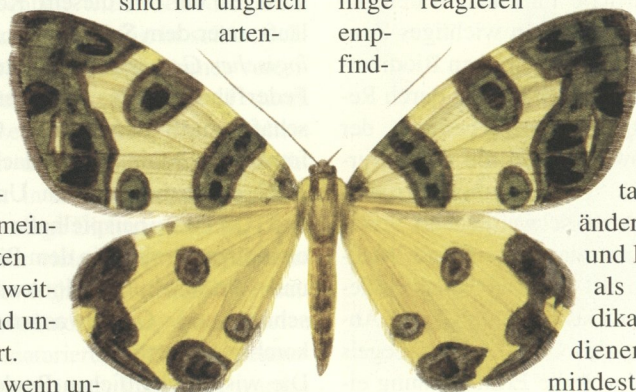
Bodenkunde, Klimafor-
schung. Erst aus der Ver-
schneidung unserer Da-
tensätze mit Informationen zu
den biotischen und abiotischen
Bedingungen des Lebensrau-
mes werden wir uns der
Schlüsselfrage unseres Vorha-
bens nähern können: Welche
Größen sind entscheidend dafür,
daß sich an einem bestimmten
Standort eine ganz bestimmte Ar-
tenvielfalt einstellt, und wie stabil
sind Zusammensetzung und Viel-
falt einer solchen Artengemein-
schaft? Diese Fragen - selbst für
Pflanzen kontrovers diskutiert -
sind für ungleich

rei-
chere
tropi-
sche
Insek-
tengemein-
schaften
noch weit-
gehend ungeklärt.

Auch wenn un-
ser primäres Interes-
se an den Mustern und
Ursachen der Artenvielfalt aus wis-
senschaftlicher Neugier motiviert
und der Grundlagenforschung zu-
zurechnen ist, so hat doch heute die
Biodiversitätsforschung auch eine
wichtige angewandte Komponente.
Einerseits ist die drängende Frage
zu beantworten, inwieweit die
Funktionsweise von Ökosystemen
noch gewährleistet ist, wenn der
Artenreichtum durch menschliche
Übernutzung von Landschaften
und natürlichen Ressourcen weiter
schwindet. Andererseits ist es für
den Schutz der Artenvielfalt von
größtem Interesse zu wissen, welcher
Anteil der heutigen Biodiversität
in oft kleinen Schutzgebieten
überleben kann oder sogar in der
Lage ist, vom Menschen geschaffene
sekundäre Lebensräume als Sied-



Callipia parrhasiata



Pantherodes colubraria



Herbita sp. cf. capnodiata

lungs-
raum zu nutzen.

Die Ergebnisse der Borneo-Studien, die ich gemeinsam mit meinem früheren Mitarbeiter Dr. Christian Schulze durchführte, zeigen ein differenziertes Bild. Schmetterlinge reagieren empfind-

lich
auf
Habi-
tatver-
änderungen
und können
als Bioin-
dikatoren
dienen. Zu-
mindest die

Vertreter einiger Falter-Familien aber finden in Sekundärwäldern durchaus gute Lebensbedingungen und treten dort in erstaunlicher Vielfalt auf, so lange diese Wälder nicht völlig verinselt inmitten ausgeräumter Kulturlandschaften liegen. Die Bedeutung solcher „Lebensräume aus zweiter Hand“ für die Erhaltung eines möglichst großen Anteils der tropischen Insektenvielfalt abzuschätzen wird ein wichtiges Anliegen für unsere künftigen Arbeiten im Rahmen der Forschergruppe sein. □

Bildautor:
Gunnar Brehm

Fließgewässerdynamik und Biodiversität

Wolfgang Völkl

Natürliche Flußauen waren ursprünglich ein wichtiges Zentrum unserer heimischen Biodiversität. Diese Vielfalt ging durch Regulierung und Verbauung der Fließgewässer und die damit verbundene Verhinderung dynamischer Prozesse weitgehend verloren. Weiterhin führten diese Maßnahmen oft auch zu einer Eintiefung der Gewässer und einer Absenkung des Grundwasserspiegels sowie durch die Ermöglichung eines schnellen Abflusses zu Hochwasserproblemen im Unterlauf. Die Renaturierung der Fließgewässer stellt deshalb ein prioritäres Ziel eines integrativen Umwelt-

schutzes dar. In diesem Kontext läuft unter dem Schlagwort „Ökologischer Gewässerbau“ unter der Federführung des Wasserwirtschaftsamt Bamberg in Oberfranken an Main und Rodach seit 1992 ein bundesweit in Umfang und Qualität beispielhaftes und einmaliges Projekt, in dem Biotop- und Artenschutz, Hochwasserschutz und Grundwasserschutz kombiniert werden.

Die wissenschaftlichen Begleituntersuchungen zu diesen Maßnahmen werden seit 1999 vom Lehrstuhl für Tierökologie I unter der Federführung von Privatdozent Wolfgang Völkl und Professor Klaus H. Hoffmann in Zusammenarbeit mit dem Wasserwirtschaftsamt Bamberg, dem BITÖK, dem Bayerische Landesamt für Umweltschutz und dem Botanischen Garten durchgeführt. Die Förderung erfolgt durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Forschungsverbundprojektes „Fließgewässerdynamik und Offenland“, an dem mit weiteren Projekten auch die Universitäten Hannover und Greifswald beteiligt sind.

Im Bayreuther Projekt werden die strukturellen Änderungen auf den Renaturierungsflächen (z.B. Auf- und Ablandung von Kiesbänken), ihre Vegetation und repräsentative Tiergruppen (Laufkäfer, Spinnen,

Wildbienen, Libellen, Fische, Vögel) detailliert untersucht. Das Ziel ist eine Analyse der Sukzession und der Dynamik der Lebensgemeinschaften im direkten Uferbereich bzw. im Umgriff der Renaturierungsflächen und der Interaktionen zwischen Lebensraumstruktur, Vegetation und Fauna.

Lebensraumstruktur und Vegetation

Die „neuen“ Flußbetten sind durch die Aufweitung inzwischen überall mehr als doppelt so breit als im begradigten Zustand, doch sind Flußtiefe und Fließgeschwindigkeit geringer. Es entstanden Haupt- und Nebenfließstrecken mit angebundenen Flachwasserzonen, Buchten und Altwässern. Umlagerungsstrecken bilden sich neu, Ufer brechen ab, Kiesbänke werden aufgelandet und abgetragen, Totholz wird verfrachtet (Abb. 1). Der Main verhält sich schon fast wie ein Wildfluß, es wurde eine neue Auendynamik initiiert, und durch die daraus resultierende neue Strukturvielfalt erhält die Natur alte Lebensräume zurück.

Die Vegetation wurde vielfältiger. Auf den Überschwemmungsflächen entstanden im Uferbereich Annuellenfluren, auf den höher gelegenen Flächen etablierten sich blütenreiche Staudenfluren. Pflanzenarten, die sonst im extensiv genutzten Grünland heimisch sind

Auch die Ringelnatter kommt an den renaturierten Flächen wieder häufig vor. (PD Dr. Wolfgang Völkl).



wie Wiesenglockenblume und Margerite, wachsen hier an natürlichen Standorten. An steilen südexponierten Abbruchkanten etablierte sich sogar eine typische Magerrasenvegetation mit Polsterpflanzen wie Thymian und Mauerpfeffer. Auf flußnahen Flächen kommt die Weidensukzession in Gang, der erste Schritt zu einer Weichholzaue.

Leben im Wasser

Im Fluß profitieren natürlich die Fische enorm von der wiedergewonnenen Naturnähe und Strukturvielfalt. Durch das abwechslungsreiche Habitatangebot und die wechselnden Strömungsverhältnisse war beim Vergleich von zwei repräsentativen Renaturierungsstrecken mit angrenzenden verbauten Flußabschnitten ein explosionsartiger Anstieg von Jungfischen zu verzeichnen. Die renaturierten Bereiche fungieren dabei sowohl als Laichplätze für Arten mit unterschiedlichem Anspruch als auch als Refugium für larvale und juvenile Stadien. Auch die Libellen - deren Larven sich ja im Wasser entwickeln - reagierten sehr positiv auf die Maßnahmen. Während an begradigten Flußabschnitten im Sommer 2000 nur 5 bis 9 Arten flogen, waren es an den renaturierten Bereichen zwischen 13 und 16 Arten. Doch nicht nur die Artenzahl war deutlich höher, auch die Individuenzahlen lagen bei allen Arten an den Renaturierungsflächen um ein Vielfaches höher.

Vielfältige Uferfauna

Die Kiesufer und Kiesbänke sind der bevorzugte Lebensraum vieler Laufkäferarten. Dort wurde eine Reihe von spezialisierten Arten nachgewiesen, die auf eine ständige Dynamik in ihrem Lebensraum angewiesen sind und für die Kiesbänke unterhalb von Wehren keinen adäquaten Ersatzlebensraum darstellen können. Dazu zählen vor allem kleine, gut flugfähige Arten (Abb. 2), die Pionierlebensräume nach Überschwemmungen oder Umlagerungen von Kiesbänken

sehr schnell wiederbesiedeln können und gleichzeitig in solch hochdynamischen Lebensräumen von einer fehlenden Konkurrenz durch Ameisen profitieren, die vor allem wegen der starken Frühjahrshochwässer in diesem Lebensraum nur sehr geringe Dichte erreichen. Doch auch für viele weitere Laufkäferarten, die früher für extensiv genutztes Grünland typisch waren, bieten die Renaturierungsflächen geeignete Lebensräume. Insgesamt wurden hier mehr als 80 Laufkäferarten in zum Teil hohen Dichten nachgewiesen, während entlang der begradigten Uferstrecken nur etwa 60 Arten leben.

Dynamische Auenlandschaften sind auch der primäre Lebensraum von vielen Wildbienenarten. In den vergangenen beiden Jahren wurden an den Renaturierungsflächen insgesamt 89 Wildbienenarten gefunden, während an begradigten Flußabschnitten nur 30 Arten flogen. Dabei profitierten vor allem solitär lebende Bienenarten und ihre Kuckucksbienen von den Maßnahmen. An den Steilwänden entlang der renaturierten Abschnitte fanden sich jeweils über 100 Wildbienenester pro m², während an den wenigen Steilwänden an begradigten Abschnitten jeweils unter 20 Nester pro m² gezählt wurden. Hummeln und Schmarotzerhummeln kamen dagegen auch an den begradigten Flächen in verhältnismäßig hoher

Arten- und Individuenzahl vor. Schließlich profitieren auch bedrohte Vogelarten von den Maßnahmen. 1999 und 2000 brüteten Flußuferläufer, Flußregenpfeifer und Blaukehlchen erfolgreich auf Kiesinseln und im Weidengebüsch. Auch der Eisvogel ist an fast allen Flächen vertreten, und im Gegensatz zum bundesweiten Trend nehmen seine Bestände im Obermaintal erfreulicherweise zu. Schließlich findet sogar das Rebhuhn, eigentlich eine Vogelart der Feldflur, hier ein Refugium zur erfolgreichen Aufzucht seiner Küken.

Zusammenfassend zeigen unsere ersten Ergebnisse eindrucksvoll die positiven Auswirkungen der Renaturierungsmaßnahmen auf die heimische Biodiversität. Flußrenaturierungen stellen damit nicht nur einen Beitrag zum Hochwasser- und Grundwasserschutz dar, sondern sind auch effektive Naturschutzmaßnahmen. □



Abb. 1: Der Main bei Zapfendorf, nahe Bamberg im Sommer 2000: 1999 und 2000 kam es zu Umlagerungen und Kiesauflandungen. Im Vordergrund sind angeschwemmtes Totholz und aufgelandete Kiesbänke zu erkennen, auf denen bereits Weidensukzession einsetzt.

Abb. 2: *Bembidion atrocoeruleum* ist eine typische Laufkäferart der Kiesbänke

Oper hinter den Kulissen

Arnold Jacobshagen

Praxisorientierte Lehrveranstaltungen nehmen auch in der Theater- und Musikwissenschaft einen immer größeren Stellenwert ein. Im laufenden Sommersemester werden in einem Seminar zum Thema „Oper hinter den Kulissen“ die Rahmenbedingungen und Produktionsabläufe des deutschen Musiktheaters untersucht und in Diskussionsveranstaltungen mit der Theaterleitung an der Bayerischen Staatsoper, der Dresdner Semperoper und anderen Bühnen erörtert.

Das Forschungsinstitut für Musiktheater der Universität Bayreuth in Thurnau (FIMT) und die dort angesiedelte Europäische Musiktheater-Akademie (EMA) bilden seit langem wichtige Schnittstellen für die Vermittlung von Wissenschaft und Bühnenpraxis. Die vom FIMT unter Leitung von Professor Dr. Sieghart Döhring herausgegebene siebenbändige Enzyklopädie des Musiktheaters stellt in dieser Hinsicht das wichtigste Ergebnis dar.

Die Stärkung des Praxisbezugs ist nicht nur ein zentrales Anliegen der aktuellen Hochschulreformen, sondern vor allem auch der Studierenden selbst. Obwohl es im Proseminar „Oper hinter den Kulissen“ keinen prüfungsrelevanten Schein zu erwerben gibt, nehmen fast alle Studierenden des Grundstudiums im Fach „Theaterwissenschaft unter besonderer Berücksichtigung des Musiktheaters“ hieran teil. Ak-

tuellen Umfragen zufolge strebt die ganz überwiegende Mehrzahl der Bayreuther Studenten der Theater- und Musikwissenschaft keine wissenschaftliche Laufbahn an, sondern eine Tätigkeit im Kulturbetrieb, in einem Bereich mit, der nach Berechnungen des Münchner Ifo-Instituts immerhin einen Anteil von 2,3% der Bruttowertschöpfung, 2,7% der Erwerbstätigkeit und 1,4% der Anlageinvestitionen unserer Volkswirtschaft ausmacht. Vielen gegenteiligen Annahmen zum Trotz und ungeachtet teilweise drastischer Einsparungen ist der Kultursektor also keineswegs ein marginaler Wirtschaftsfaktor. Von den öffentlichen Kulturausgaben wiederum entfallen beispielsweise in Bayern rund ein Drittel allein auf die Theater.

Aus historischen Gründen ist die Theaterinfrastruktur in Deutschland wesentlich dichter gefügt als in den europäischen Nachbarländern. Infolge der jahrhundertelangen Kleinstaaterei entwickelte sich hierzulande eine einzigartige Konzentration höfischer Bühnen, von denen viele als „Staatstheater“ bis heute fortleben. Im späten 19. Jahrhundert kamen zahlreiche bürgerliche Theatergründungen hinzu, die meist während der Weimarer Republik von den jeweiligen Kommunalverwaltungen übernommen und somit zu „Stadttheatern“ wurden. Typisch für das deutsche Theatersystem sind Mehrspartentheater (Oper, Schauspiel, Bal-

lett im selben Haus) mit festen Ensembles und umfangreichen Repertoires.

Der gegenwärtige Musiktheaterbetrieb in Deutschland wird im laufenden Praxisseminar systematisch unter die Lupe genommen. Hierbei werden zunächst die rechtlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen (Finanzierung, Betriebssysteme, Rechtsformen, organisatorische Teilbereiche, Bühnen- und Aufführungsrecht) erörtert, alle einschlägigen Berufsfelder mit ihren Qualifikationsvoraussetzungen und Ausbildungsgängen vorgestellt und der Ablauf einer Produktion von der Stückauswahl bis zur Premiere in seinen einzelnen Phasen untersucht. Jene Arbeitsfelder, die vorzugsweise Theaterwissenschaftlern offenstehen, erfahren dabei besondere Berücksichtigung.

Nachdem sich die Teilnehmer in den ersten kompakten Seminareinheiten mit den wichtigsten Aspekten und Problemen vertraut gemacht haben, folgen in mehreren Tagesexkursionen Betriebsbesichtigungen in einzelnen Opernhäusern, bei denen es zu intensiven Gesprächen mit leitenden Mitarbeitern aus der Theaterpraxis kommt. Besucht werden die Bayerische Staatsoper München, die Semperoper Dresden, das unlängst fusionierte Theater Plauen-Zwickau, das Theater Chemnitz sowie das Bayreuther Festspielhaus. Die Veranstaltung setzt die

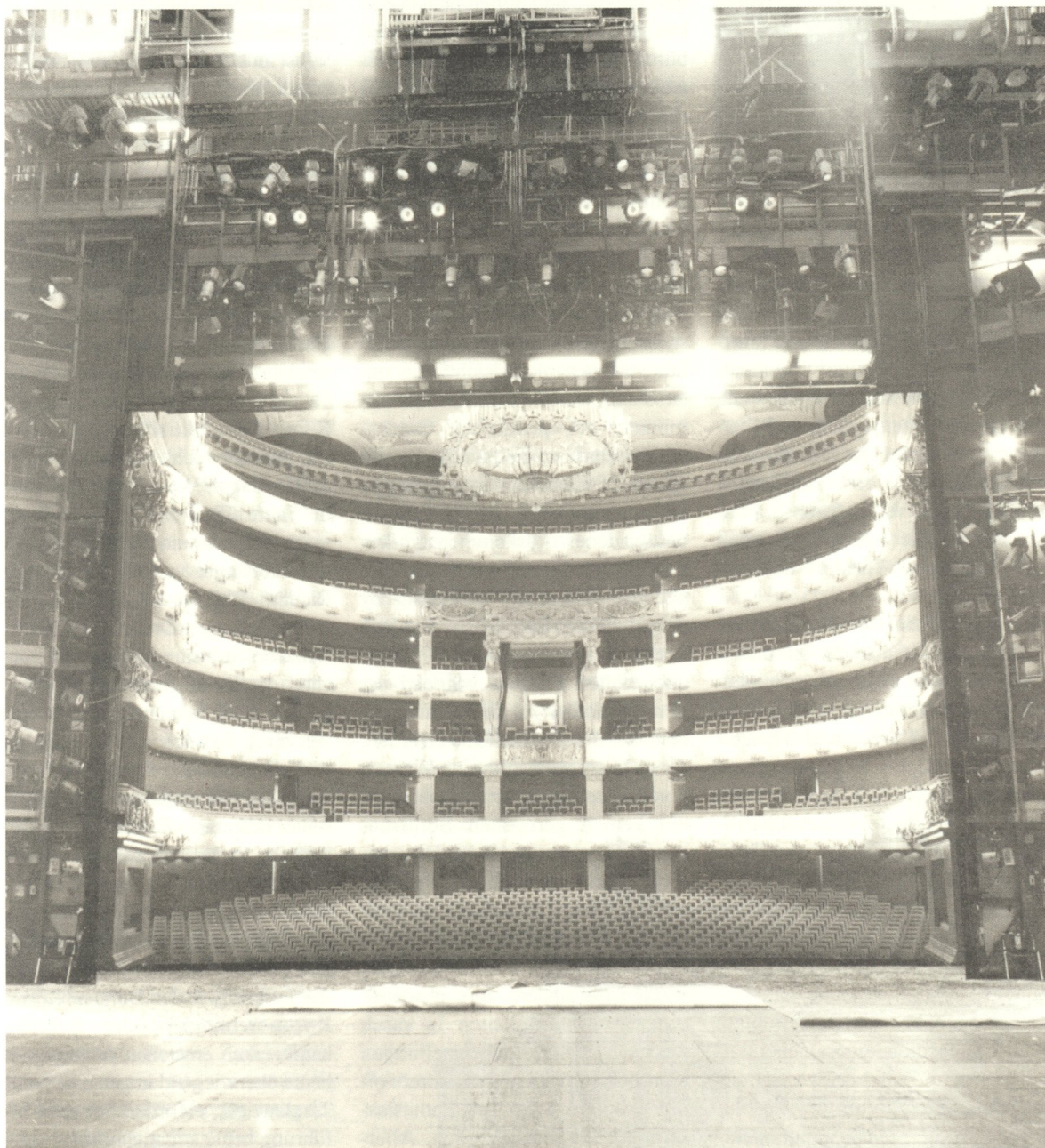
Reihe von Tagesexkursionen zu den Theatern im weiteren Bayreuther Umkreis fort, die bereits vor gut einem Jahr mit Besichtigungen und Diskussionsveranstaltungen am Theater Nürnberg, am Städtebundtheater Hof und am Landestheater Coburg begonnen wurde.

Unser Besuch beim Theater Nürnberg gibt eine Vorstellung über den Ablauf einer solchen Veranstaltung. Pünktlich um neun Uhr morgens wurden wir vom Pressesprecher Dr. Michael Kerstan empfan-

gen und in einem Rundgang durch das Haus und die angrenzenden Theaterwerkstätten (vom Kostümatelier bis zur Schreinerei) geführt, woran sich eine leidenschaftliche Diskussion mit dem Werkstattleiter über die Vor- und Nachteile des Outsourcing im Ausstattungsbereich anschloß.

Anschließend eröffnete Intendant Dr. Wulf Konold im Foyer des Theaters einen fast dreistündigen Round Table, an dem außerdem u.a. der Geschäftsführende Direktor Dr. Axel Baisch, der Leiter der

Öffentlichkeitsarbeit Jürgen Priebe, die Musikdramaturgen Anja Weigmann und Dr. Uwe Sommer sowie Vertreter der technischen Abteilungen beteiligt waren. Die anwesenden Studenten waren jeweils auf bestimmte Teilbereiche besonders vorbereitet, die sie zuvor in Arbeitsgruppen innerhalb des Seminars behandelt und in Referaten zur Diskussion gestellt hatten. Auf dieser Grundlage entwickelte sich nun eine intensive Gesprächsrunde, wobei von studentischer Seite jeweils die „Sprecher“ der



Nationaltheater München, Blick von der Hinterbühne über die Hauptbühne in den Zuschauerraum. Die Besichtigung der hochmodernen Bühnentechnik bildet einen Schwerpunkt der Tagesexkursion am 28. Mai 2001.



Bayreuther Studierende der Theaterwissenschaft besuchen die Maskenbildnerei im Hofer Städtetheater.

einzelnen Arbeitsgruppen mit Kurzbeiträgen zu Wort kamen. Die lebhaften Debatten wurden mittags in der Kantine fortgesetzt, bekanntlich der wichtigsten Kontakt- und Informationsbörse an allen Theatern. Nachmittags bestand Gelegenheit, das Gespräch mit einzelnen Mitarbeitern individuell zu vertiefen, ehe wir uns abends in einer Aufführung von Giuseppe Verdis Oper „La traviata“ von der Leistungsfähigkeit des Nürnberger Theaters überzeugen konnten.

Der berufliche Werdegang des Nürnberger Intendanten ist inzwischen für viele Bayreuther Studenten zum Leitbild geworden. Der promovierte Musik- und Theaterwissenschaftler, Regisseur und namhafte Buchautor durchlief die klassischen geisteswissenschaftlichen Führungspositionen am Theater. Er war als Dramaturg und Chef-dramaturg an verschiedenen Häusern tätig, ehe er zum Intendanten des großen Nürnberger Dreisparsentheaters berufen wurde.

Die beinahe unumschränkte Führungsposition eines Generalintendanten (die man deswegen mitunter als letztes Relikt des Absolutismus in der bundesrepublikani-

schen Gesellschaft bezeichnet hat) bedeutet natürlich für jeden ehrgeizigen Theaterwissenschaftler die größte Herausforderung, der sich freilich nur die allerwenigsten jemals werden stellen können.

Ansonsten aber bieten sich an den deutschen Bühnen sehr vielfältige Tätigkeitsbereiche, und es finden sich heute studierte Theaterwissenschaftler in fast allen nur denkbaren Theaterberufen. Außer in der Dramaturgie - der klassischen geisteswissenschaftlichen Domäne - begegnet man ihnen beispielsweise in der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, im Künstlerischen Betriebsbüro, im Theaterarchiv, in der Verwaltung oder als persönliche Referenten der Geschäftsleitung. Im künstlerischen Sektor wirken sie als Regisseure, Regieassistenten, Inspizienten, Souffleure oder auch als Darsteller an den Inszenierungen mit. Und selbst in den bühnentechnischen und Ausstattungsberufen, deren theaterwissenschaftliche, historische und kunstgeschichtliche Dimensionen nicht leichtfertig unterschätzt werden sollten, trifft man mitunter auf qualifizierte Geisteswissenschaftler, die hier als Requisiteure, Fundusverwalter oder im Bühnenbetrieb ein vergleichsweise bescheidenes Auskommen finden. Ihr Handwerkszeug haben sie eher nebenbei erworben. „Learning by doing“ - ein Prinzip, das vielen Studenten bestens vertraut ist, die in unbezahlten Praktika während der Semesterferien all das kennenlernen, was der Theateralltag erfordert. Tatsächlich gab es für eine Vielzahl von Theatertätigkeiten bis vor kurzem keinen geregelten Berufszugang. Theater- und Musikwissenschaftler hatten an den Bühnen generell günstige Voraussetzungen, da sie durch ihr Fachstudium zumindest theoretisch besser Bescheid wußten als andere, ihre akademischen Basisfertigkeiten in rasch wechselnden Aufgabenstellungen erproben konnten und obendrein oft mit besonders großem Enthusiasmus bei der Sache waren. Aller-

dings haben sich hier in der jüngsten Vergangenheit tiefgreifende Wandlungen vollzogen, die zum einen mit der Finanzkrise der Theaterträger und den daraus erwachsenen Wirtschaftlichkeitserwägungen zusammenhängen, zum anderen die neuen Entwicklungen insbesondere in der Medien- und Eventtechnologie widerspiegeln.

Der Löwenanteil der finanziellen Lasten entfällt auch bei den Opernhäusern auf die Personalkosten, die mehr als 85% der Gesamtausgaben verschlingen. Die größten deutschen Theater beschäftigen bis zu tausend festangestellte Mitarbeiter, selbst an kleineren Häusern wie Hof oder Coburg sind es mehrere hundert. Aus dem großen Personalbedarf läßt sich ermaßen, warum Opernproduktionen heute so teuer sind und zwangsläufig in ein „ökonomisches Dilemma“ geraten, das erstmals im Jahre 1966 von William J. Baumol und William G. Bowen wissenschaftlich untersucht wurde. Die sogenannte „Baumolsche Kostenkrankheit“ ergibt sich aus der Tatsache, daß in den darstellenden Künsten Produktivitätssteigerungen im „Kernbereich“ so gut wie unmöglich sind. Wie bei der Premiere im Jahre 1868 benötigt man beispielsweise für eine Aufführung der „Meistersinger von Nürnberg“ von Richard Wagner auch heute noch rund achtzig Orchestermusiker, sieben Solosänger, den Solistenchor der zwölf Lehrsänger, einen großen Chor sowie für den dritten Akt einen Extrachor. Weder die beträchtliche Dauer des Werkes von mehr als vier Stunden noch die zu seiner adäquaten Wiedergabe erforderliche Probenzeit werden sich in Zukunft nennenswert reduzieren lassen. Benötigt werden nach wie vor vier komplette Dekorationen und hunderte von Kostümen. Auch die Leistungen der Bühnenbildner, Kostümschneider oder Bühnenhandwerker entstehen damals wie heute überwiegend in „Handarbeit“. Tendenziell erfordert eine Aufführung heute sogar eher mehr qua-

lifizierte Arbeitsstunden als im 19. Jahrhundert, da die aufführungsbeleitenden Leistungen ständig gewachsen sind und durch die ubiquitäre Verfügbarkeit exzellenter CD-Einspielungen auch die künstlerischen Ansprüche zugenommen haben.

Während aber im gleichen Zeitraum in den progressiven Sektoren der Wirtschaft immense Produktivitätssteigerungen eine rasante Lohnentwicklung ermöglichten, gilt entsprechendes für die Darstellenden Künste offensichtlich nicht. Da die Gehälter der Bühnengehörigen gleichwohl an die aktuelle Entwicklung in den anderen Sektoren angepaßt wurden, entwickelte sich am Theater ein ständig wachsender Zuschußbedarf, der durch eine Erhöhung der Eintrittspreise bei weitem nicht mehr ausgeglichen werden kann. Tatsächlich wird heute jede einzelne Eintrittskarte der öffentlichen Theater mit durchschnittlich 170 DM subventioniert. Der „reale“ Preis einer einzigen Karte für die „Meistersinger“ und andere Kolossalopern liegt freilich noch weit höher und dürfte sich an manchen Bühnen inzwischen im vierstelligen Bereich bewegen. (Regelmäßiger Opernbesuch ist somit für den Normalbürger eine besonders angenehme und empfehlenswerte Art, rechtmäßig in den Genuß beträchtlicher staatlicher Zuschüsse zu kommen). Das Beispiel der „Meistersinger“ verdeutlicht, warum allein durch Sparmaßnahmen und gutes Management das strukturelle Finanzierungsproblem des Theaters nicht zu lösen ist. Zwar haben die Bühnen in den letzten Jahren bestehende Rationalisierungsspielräume genutzt und konnten trotz sinkender Zuschüsse ihre Einspielquoten von durchschnittlich 13,2% (1992) auf 15,3% (1999) steigern. Gleichwohl sind immer noch fast 85% der Ausgaben nicht durch Kasseneinnahmen gedeckt. Weitere Zuschußsenkungen müssen nun zwangsläufig zu einer spürbaren Verringerung des Musiktheaterangebots führen.

Die inzwischen unbestrittene Notwendigkeit einer ökonomisch effizienten Betriebsführung blieb für die personelle Zusammensetzung der Chefetagen an deutschen Bühnen nicht folgenlos. So nehmen heute in zunehmendem Maße Juristen auf den Intendanten- und Beratersesseln Platz. Die Geschäftsführung wird hochspezialisierten Wirtschaftswissenschaftlern übertragen, ebenso die früher am Theater unbekannten Bereiche des Controlling und Sponsoring. Daneben besetzen Kultur- und Medienmanager mit Hochschulabschluß die neugeschaffenen Positionen im Marketing, und PR-Profis kümmern sich im ausbalancierten Marketing-Mix um die Kommunikationspolitik. Das Künstlerische Betriebsbüro, das traditionell von kontaktfreudigen „Disponenten“ allein mit Hilfe von Bleistiften, Radiergummis und dicken Terminkalendern geleitet wurde, entwickelt sich immer mehr zur technisch hochgerüsteten Schaltstelle, in der Manager-Informatiker in Personalunion die computergestützte Ablauforganisation steuern.

Die technologischen Entwicklungen führten vor allem in den bühnentechnischen Berufen zu weiteren Spezialisierungen und Ausbildungsgängen. Die Deutsche Theater-technische Gesellschaft, die Bayerische Theater-Akademie in München und andere Institutionen beschäftigen sich seit langem mit der Entwicklung praxisorientierter Bühnenqualifikationen. Innovative Ausbildungseinrichtungen wie die Europäische Medien- und Event-Akademie in Baden-Baden bieten Fortbildungen für Requisiteure, Veranstaltungstechniker, Bühnenplasterer oder Pyrotechniker

an und verfügen inzwischen über anerkannte Bachelor-Studiengänge in Medien- und Event-Management, Mechatronik oder Content- and-Assetmanagement.

Für den potentiellen Bühnennachwuchs in den geisteswissenschaftlichen Studiengängen ergeben sich aus der skizzierten Situation weitreichende Konsequenzen. Studenten mit dem Berufsziel einer Theaterlaufbahn sollten sich angesichts der zunehmend spezialisierteren Mitbewerber nicht mehr allein darauf verlassen, über Hospitanzen, Praktika und Regieassistenzen in den Theaterbetrieb „hineinzurutschen“, sondern frühzeitig die Möglichkeiten sinnvoller Zusatzqualifikationen sondieren.

Promovierte Theater- und Musikwissenschaftler werden auch weiterhin nicht nur für den wissenschaftlichen Nachwuchs, sondern auch für Führungspositionen in der Dramaturgie unverzichtbar sein. Für andere Bereiche können Aufbaustudiengänge in Kulturmanagement, Public Relations oder Medienwissenschaften die Aussichten auf einen erfolgreichen Berufseinstieg wesentlich erhöhen. Werden diese Möglichkeiten bereits nach einem Bachelor-Abschluß ergriffen, kann sich die Ausgangsposition unter Umständen weiter verbessern. Die Universität Bayreuth hat auf die aktuellen Herausforderungen bereits mit der Entwicklung neuer medienbezogener BA- und MA-Studiengänge reagiert, die baldmöglichst eingerichtet werden sollen. □

Sächsische Staatsoper Dresden, erbaut von Gottfried Semper in den Jahren 1871-78. Die Semperoper ist Exkursionsziel der Bayreuther Studenten am 11. Juni 2001.



Gesundheitssportprogramm mit Breitbandwirkung

Walter Brehm

Für Personen, die sich lange Zeit wenig oder nie körperlich beanspruchen und dementsprechend sehr häufig mit verschiedenen Risikofaktoren und Beschwerden belastet sind, bringt bereits eine einmalige wöchentliche Teilnahme an einem gut geplanten Gesundheitssportprogramm erstaunliche Gesundheitseffekte. Dies zeigt eine Langzeitstudie, die am Institut für Sportwissenschaft der Universität Bayreuth unter Leitung von Prof. Dr. Walter Brehm durchgeführt wird.

Zu Beginn des dritten Jahrtausends ist klar, dass Bewegungsmangel einer der zentralen Risikofaktoren für die Gesundheit ist, der zahlreiche andere Risikofaktoren wie z.B. außer den Normen liegende Werte für Blutdruck, Blutzucker oder Blutfette gleichsam nach sich zieht. Ebenfalls werden viele alltägliche Beschwerden durch Bewegungsmangel mitverursacht - von Schlafstörungen über Kopfschmerzen bis hin zu den sehr häufigen Rückenproblemen.

Als gesundheitliches Bewegungsminimum gilt eine mit moderater Intensität realisierte körperliche Beanspruchung mit einem Kalorienverbrauch von 800 - 1000 kcal pro Woche zusätzlich zur normalen Alltagsaktivität (wie z.B. Herumgehen im Haus oder Fußweg zum Auto). Diese Minimalbeanspruchung kann z.B. durch 5 mal 30 Minuten schnelles Gehen oder 4 mal 30 Minuten Joggen erreicht werden. Eine solche gesundheitlich relevante Minimalbeanspruchung wird in den hoch industrialisierten Ländern - so auch in Deutschland - jedoch nur von maximal 10 bis 20% der erwachsenen Bevölkerung realisiert. 80% der erwachsenen Bevölkerung sind dementspre-

chend bewegungsverarmt und sind in der Folge gesundheitlich gefährdet. Die Konsequenzen dieses wenig verantwortungsvollen Umgangs mit der eigenen Gesundheit für die Volkswirtschaft werden lautstark beklagt, ohne dass Änderungen in Sicht sind.

Die am Institut für Sportwissenschaft der Universität Bayreuth unter der Leitung von Prof. Dr. Walter Brehm entwickelte „7-Sequenzen-Intervention“ ist so ausgelegt, dass bei einer 90 Minuten Einheit etwa 500 kcal zusätzlich verbraucht werden. Wichtiger aber ist, dass die körperlichen Fähigkeiten systematisch und umfassend angesprochen werden, d.h. neben der Ausdauer auch die Kraft, die Dehnfähigkeit, die Koordinationsfähigkeit und die Entspannungsfähigkeit. Insbesondere zielt die Intervention im Verlauf des einjährigen Einstiegsprogramms jedoch auf eine Verhaltensänderung, von einem körperlich inaktivem Verhalten zu einem körperlich aktivem Verhalten. Eine solche Verhaltensänderung ist in etwa vergleichbar mit einer Raucherentwöhnung, liebgewonnene Gewohnheiten müssen aufgegeben werden, neue Gewohnheiten - die in diesem Fall sogar noch anstrengend und teilweise mühsam sind - müssen eingeübt werden. Die allermeisten Versuche, im Erwachsenenalter eine gesundheitsorientierte körperliche Aktivität aufzunehmen und regelmäßig auszuüben scheitern im Verlauf der ersten sechs Monate. Aber auch danach gibt es viele Anlässe, die als Ausrede benutzt wer-

den, wieder aufzuhören - meistens „ich habe dafür keine Zeit“.

Mit der „7-Sequenzen-intervention“ werden die Kursteilnehmer langsam an körperliche Beanspruchungen heran geführt. Im Laufe des ersten Jahres wird wöchentlich nur je eine Kurseinheit angeboten, d.h. etwa 45 Einheiten über das Jahr, wenn Ferienzeiten, Feiertage und andere Ausfallgründe abgezogen werden. Dabei wird allerdings gezielt ein Repertoire an Handlungskompetenz und Handlungswissen vermittelt, das die Teilnehmer befähigt, auch selbständig gesundheitsfördernde sportliche Aktivitäten, über das Kursprogramm hinaus, zu betreiben.

Die einzelnen Einheiten sind jeweils in sieben Sequenzen strukturiert:

- Eine *Einstiegssequenz* von etwa 3 bis 5 Minuten, in der der Übungsleiter kurz die Schwerpunkte der Einheit beschreibt und der Ruhepuls gemessen wird.
- Die *Erwärmungssequenz* von etwa 10 bis 15 Minuten stimmt auf eine möglichst unterhaltsame Art und Weise auf die folgenden körperlichen Beanspruchungen ein.
- Die *Ausdauersequenz* von etwa 15 bis 25 Minuten baut auf Gehen und Laufen auf, bezieht aber auch andere große Muskelgruppen mit ein. Meist wird hier fetzige Musik als Motivationshilfe verwendet.
- In der *Kraft- und Beweglichkeitssequenz* von etwa 30 bis 40 Minuten werden besonders jene Muskelgruppen gekräftigt, die zur Abschwächung neigen und jene Muskelgruppen werden gedehnt, die

zur Verkürzung neigen. Besonderer Wert wird auf eine gründliche Rückenmobilisation gelegt.

- In der *Entspannungssequenz* von etwa 10 bis 15 Minuten wird systematisch relaxt. Tiefmuskelentspannung und Yogaübungen gehören hier ebenso dazu wie verschiedene Formen der Massage.

- Die *Ausklang-* und *Abschlusssequenz* von etwa 10 Minuten soll nochmals aktivieren und insbesondere gute Laune bringen.

- Eine *Informationssequenz* von 5 bis 10 Minuten, ist in etwa jede zweite Einheit so integriert, dass die Informationen direkt umgesetzt oder auch erlebbar werden. Z.B. werden Antworten auf die Fragen „Warum schlägt das Herz beim Laufen schneller und warum ist dies auch noch gesund?“ zu Beginn der Ausdauersequenz gegeben.

Das Programm wird in Kooperation mit Sportverbänden und Sportvereinen aber auch unterstützt von Krankenkassen und Ärztekammern seit einigen Jahren in verschiedenen Bundesländern durchgeführt. Derzeit läuft z.B. eine flächendeckende Erprobung in Westfalen, bei der die AOK, die Ärztekammer und Sportvereine sowie Fitness-Studios eng zusammen arbeiten.

Ob das Programm wirklich die erhofften positiven Wirkungen auf die Gesundheit und auf das Verhalten der Teilnehmer hat, wird derzeit in einer auf vier Jahre angelegten Langzeitstudie untersucht, die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziert wird. Im Rahmen dieser Studie arbeitet eine Forschergruppe am Institut für Sportwissenschaft der Universität Bayreuth unter Leitung von Prof. Dr. W. Brehm und Dr. R. Sygusch zusammen mit Medizinern der Universität Erlangen.

Der TV 1848 Erlangen, einer der größten Turnvereine in Franken, der sich seit längerem intensiv um den Aufbau eines qualitativ hochwertigen Gesundheitssportangebots für seine Mitglieder bemüht, bietet seit Oktober 1997 mit halb-

jährlichem Beginn (Oktober und April) das skizzierte Interventionsprogramm an. 117 Teilnehmern aus fünf Kursen bilden die Interventionsgruppe, eine erste Kontrollgruppe besteht aus 32 Nichtsportler, eine zweite Kontrollgruppe besteht aus 40 Personen, die seit vielen Jahren in diesem Verein breitensportlich aktiv sind. Die Geschlechtsverteilung liegt in allen drei Gruppen bei 3 (Frauen) zu 2 (Männer), der Altersdurchschnitt bei fast 50 Jahren, die männlichen Teilnehmer sind im Schnitt fast vier Jahre älter als weiblichen.

Nach einem Jahr und damit nach Abschluss der systematischen Intervention erbrachte die Studie unter anderem folgende Ergebnisse:

Insgesamt wurde im Interventionszeitraum eine sehr hohe Bindung an das Interventionsprogramm erreicht. 85% der Kursteilnehmer sind als Dabeibleiber einzustufen. Die sportliche Aktivität und der damit verbundene zusätzliche Energieverbrauch pro Woche wurden in der Interventionsgruppe hochsignifikant von 360 kcal auf ein gesundheitsrelevantes Maß von fast 1000 kcal gesteigert. In den Kontrollgruppen ergeben sich dagegen keine Veränderungen. Dies bedeutet, dass mit dem Programm das Ziel einer Verhaltensänderung für die große Mehrzahl der Teilnehmer erreicht werden konnte. Wie stabil dieses neue Verhalten ist, müssen die Untersuchungen in den nächsten Jahren zeigen.

Gesundheitlich objektiv profitiert haben insbesondere jene Teilnehmer an den Programmen, die zu Beginn gesundheitlich besonders angeschlagen waren. Für diese Teilnehmer kann nachgewiesen werden, dass bereits der eine Termin pro Woche zu einer bedeutsam positiven Veränderung ihrer Fitness, d.h. ihrer Ausdauer, Kraft, Dehn- und Koordinationsfähigkeit, führt. Weitergehend zeigt sich, dass die im metabolischen Syndrom zusammengefasste Risikofaktoren - mit Ausnahme des Übergewichts -

sich bedeutsam in Richtung Normwerte verändern, dies gilt für den Blutdruck und den Blutzucker ebenso wie für zentrale Lipidparameter wie z.B. die Cholesterine.

Auf der anderen Seite machen die Daten der Studie aber auch deutlich, dass für jene Teilnehmer, die beim Einstieg in das Programm schon „körperlich ganz gut drauf“ sind, sich an den objektiven Gesundheitsparameter kaum etwas verändert. Allerdings profitieren auch diese Teilnehmer in einer doppelten Art und Weise: Zum einen werden sie an ein neues Verhalten herangeführt, was bei einer höheren Beanspruchung vermutlich nicht gelingen würde. Zum anderen profitieren diese Teilnehmer, wie alle anderen auch, in ihren subjektiven Gesundheitswahrnehmungen von dem Programm.

Alle Teilnehmer haben nach einem Jahr einen positiveren Bezug zu ihrem Körper, das Programm hat zu einer positiveren Grundgestimmtheit beigetragen, sie nehmen sich als gesünder wahr und sie sind mit ihrer Gesundheit auch zufriedener. Das bedeutet, dass sich die Teilnehmer an dem Programm nach einem Jahr insgesamt besser fühlen, besser als vorher, aber auch besser im Vergleich zur Kontrollgruppe der Nichtsportler. Gleichzeitig nähern sie sich in ihrem Befinden der Kontrollgruppe der Breitensportler an. Auch die Nachhaltigkeit dieser Effekte wird in den nächsten drei Jahren weiter überprüft. □

Ausführliche Darstellungen des gegenwärtigen Standes der Projektarbeiten sind einem „Methodenbericht“ sowie dem „Ergebnisbericht 1“ zu entnehmen. Diese Bände sind in der Reihe der „Bayreuther Beiträge zur Sportwissenschaft“ (Heft 7 und 8) erschienen. (Zu beziehen über Sekretariat des Lehrstuhls für Sportwissenschaft II, Universität Bayreuth, 95440 Bayreuth; e-mail: elfriede.tittlbach@uni-bayreuth.de; DM 25.- pro Band).

Migrationforschung

Detlef Müller-Mahn



Professor Dr. Detlef Müller-Mahn, Lehrstuhl für Bevölkerungs- und Sozialgeographie

Die aktuelle Debatte um Zuwanderung, Staatsbürgerschaft und die zunehmende Überalterung der deutschen Gesellschaft lenkt das Interesse der Öffentlichkeit auf Themen, mit denen sich die Bevölkerungs- und Sozialgeographie schon seit längerem befasst: Diese Fachrichtung der Geographie beschäftigt sich mit dem räumlich-strukturellen Wandel von Gesellschaften und den dafür verantwortlichen Steuerungsfaktoren. Dazu gehören beispielsweise Veränderungen der Alterszusammensetzung, des Lebensstandards oder des Arbeitsplatzangebotes, die zwischen verschiedenen Ländern oder auch zwischen Stadt und Land unterschiedlich verlaufen und deshalb Wanderungsbewegungen auslösen können. Im Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses stehen Fragen nach den Ursachen dieser gesellschaftlichen Vorgänge. Besondere Aufmerksamkeit findet gegenwärtig die transnationale Migration, auch wenn das Phänomen selbst keineswegs neu ist.

Professor Dr. Detlef Müller-Mahn seit April 2001 Inhaber des Lehrstuhls für Bevölkerungs- und Sozialgeographie an der Universität Bayreuth, hat zuvor an Universitäten in Bonn, Leipzig und Berlin gearbeitet und dort eine Reihe von Forschungsprojekten zu Entwicklungs- und Migrationsprozessen vorwiegend im nordafrikanischen Raum durchgeführt. Im Rahmen dieser Arbeiten verbrachte er unter anderem fünf Jahre in Ägypten und drei Jahre in Algerien.

Von dieser regionalen Basis aus war es naheliegend, die Zuwande-

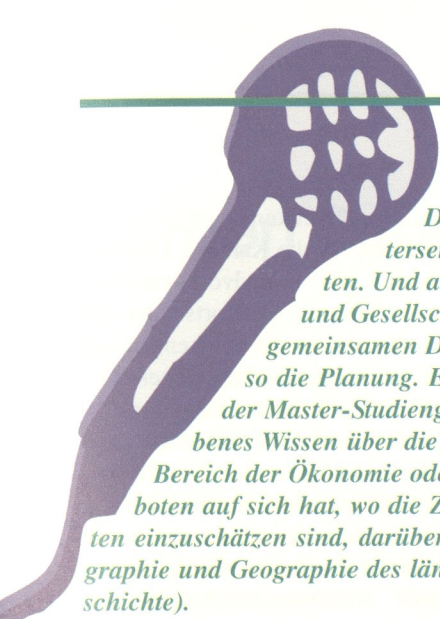
rung von Nordafrikanern nach Europa näher zu untersuchen. Ein Langzeitprojekt befasst sich mit der Entstehung und internen Organisation eines Migrantennetzwerkes von Ägyptern in Paris, die alle aus ländlichen Gemeinden im Nildelta stammen und nun in der französischen Hauptstadt bestimmte Nischenökonomien im Baugewerbe und im Lebensmittelhandel für sich erschlossen haben. Viele dieser zunächst illegal eingereisten jungen Männer haben innerhalb kurzer Zeit erstaunliche Karrieren vollbracht. Mit Transferzahlungen in ihre Heimatdörfer üben sie einen zunehmenden Einfluss auf die dortige wirtschaftliche Entwicklung aus.

Die Studie belegt, wie wichtig es gerade im Kontext der Globalisierung ist, transnationale Migrationsprozesse und speziell die Zuwanderung aus Entwicklungsländern nach Europa im Zusammenhang von Herkunfts- und Zielgebieten zu analysieren, und dabei nicht nur auf die Phänomene der Zuwanderung bei uns zu schauen: Transnationale Migranten gehören schon allein aufgrund der hohen Reisekosten in der Regel nicht zu den Ärmsten in ihren Herkunftsländern, sondern eher zu den Mobilsten. Als Innovatoren können sie wichtige Impulse für die regionale Entwicklung liefern. Eine entwicklungspolitisch interessante Frage des Forschungsprojektes richtet sich darauf, ob heimkehrende Arbeitsmigranten in ihrer Wirkung als „Entwicklungshelfer“ sinnvoll unterstützt werden können.

Migration spielt auch auf subnatio-

naler, kleinräumiger Ebene eine wichtige Rolle. Ein zweites zur Zeit laufendes Forschungsprojekt des Lehrstuhls befasst sich mit intraurbanen Wanderungsprozessen im Stadtteil Prenzlauer Berg in Ostberlin. Dieser Bezirk wurde nach der Wende zum bevorzugten Wohngebiet für junge Leute. Das Image des Viertels wurde durch die Entstehung einer bunten Kneipen- und Kulturszene geprägt. Folge der als „Gentrification“ bezeichneten Aufwertung in dem Gebiet waren aber auch eine Steigerung des Mietniveaus und schließlich die Verdrängung eines großen Teils der ursprünglichen Einwohnerschaft. Die Frage, wie die Betroffenen auf diese Verdrängungsprozesse reagieren und wie ihnen dabei geholfen werden kann, steht im Mittelpunkt des Projektes. Antworten auf diese Frage sind für verschiedene kommunale Einrichtungen und speziell für die Stadtplanung interessant.

Globalisierung und Migration stehen in einem engen Zusammenhang. Die wirtschaftlichen Umbrüche der Gegenwart spiegeln sich in einem zunehmenden Grad der Mobilität, und zwar, wie die beiden zitierten Projekte zeigen, auf verschiedenen räumlichen Ebenen. Geographische Forschung zu Wanderungsprozessen wird daher auch in Zukunft eine große Bedeutung behalten. Der neue Lehrstuhl für Bevölkerungs- und Sozialgeographie wird in diesem Bereich einen seiner Arbeitsschwerpunkte ausbilden. □



Die Universität schärft weiter ihr Profil in der Lehre. Als Bachelor-Studiengang wird ab dem Wintersemester 2001/02 - soweit ist sicher - „Geographische Entwicklungsforschung in Afrika“ angeboten. Und andere Studiengänge sitzen bereits in den Startlöchern: Etwa der Bachelor Studiengang „Kultur und Gesellschaft Afrikas“, der zusammen mit der geographischen Entwicklungsforschung Afrikas unter dem gemeinsamen Dach „Angewandte Afrika-Studien“ zu sehen ist, mit jeweiligem Bachelor- und Master-Angebot, so die Planung. Ein anderes Beispiel ist der Diplomstudiengang Computik, der ein Renner werden könnte oder der Master-Studiengang „Modern German History“, der nicht nur darauf abzielt, im anglophonen Ausland erworbenes Wissen über die jüngste deutsche Geschichte zu vertiefen, sondern auch für deutsche Graduierte etwa aus dem Bereich der Ökonomie oder der Naturwissenschaften Sinn macht. Was es im Einzelnen mit den kommenden Studienangeboten auf sich hat, wo die Zielgruppe ist, welche Voraussetzungen erfüllt sein sollen und vor allem wie die Berufsaussichten einzuschätzen sind, darüber sprach die SPEKTRUM-Redaktion mit den Bayreuther Professoren Herbert Popp (Stadtgeographie und Geographie des ländlichen Raums), Friedrich H. Busse (Theoretische Physik) und Hermann Hiery (Neueste Geschichte).

Hermann Hiery - Neueste Geschichte

Professor Hiery, was sind die Beweggründe für den Master-Studiengang Modern German History?

Wir wollen mit diesem neuen Studienangebot ganz andere Zielgruppen ansprechen, als wir das traditionell im Studium der Geschichte tun. Es sind im wesentlichen zwei Zielgruppen. Das eine sind ausländische Studenten, insbesondere aus den anglophonen Ländern, Großbritannien, den Vereinigten Staaten, ein kleinerer Teil aus Australien und Neuseeland, die bislang bereits das, was man in deutsch Grundstudium nennen könnte, als German History studieren und mit einem Bachelor abgeschlossen haben, aber auf Grund der Tatsache, dass sie nahezu keine Deutsch-Kenntnisse besitzen, das Studium nicht weiterführen können. Modern German History ist ein Schwerpunkt, der in den Vereinigten Staaten sehr verbreitet ist. Dort gibt es eine fast unglaublich große Zahl an Studenten, die das Angebot im „Grundstudium“ wahrnehmen, aber das Studium dann nicht weiterführen können, obwohl das Interesse da ist. Hier setzt das Bayreuther Angebot ein. Interessenten können an einer deutschen Universität mit Spezialisten in deutscher Geschichte diesen Schwerpunkt studieren. Sie erhalten zunächst

einmal eine besondere Sprachenausbildung, die sie neben der Sprache an sich von Anfang mit der historischen Fachsprache vertraut macht. Das Studium der deutschen Sprache und (für die Kenntnis der deutschen Geschichte besonders wichtig) deutschen Schrift sind dabei eng miteinander verbunden. Und Deutsch heißt hier selbstverständlich Deutsch im Sinne der Interkulturellen Germanistik. Das Programm beruht also auf der Vermittlung von Lese- und Interpretationskenntnissen deutscher historischer Quellen und dem historisch qualifizierten Spracherwerb. Da der Studiengang zweisprachig ist und die Lehrveranstaltungen in den ersten beiden Semestern für anglophone Kandidaten und Studenten ganz überwiegend in englischer Sprache abgehalten werden, liegt damit ein Angebot vor, das an keiner anderen deutschen Universität vorhanden ist und natürlich auch nicht an einer amerikanischen, weil dort die spezifisch deutsche Komponente fehlt.

Die zweite Zielgruppe, die angesprochen werden soll, sind jene deutschen Studenten, die eben keine Historiker im landläufigen Sinne sein wollen. Wir haben das Programm ganz bewußt so gestaltet, dass jeder Student, der einen ersten

Studienabschluß hat, unseren Studiengang besuchen kann, auch etwa Naturwissenschaftler, Juristen und Ökonomen. Gerade Studienabsolventen aus Fächern, die in der Lehre keinerlei Verbindung zur Geschichte aufweisen, sind uns ganz besonders willkommen. Im Vordergrund stehen für uns Volkswirtschaftswissenschaftler, Manager, die einen wirtschaftswissenschaftlichen oder juristischen Abschluß haben, die aber für ihre Karriere - die sie eher früher als später auch ins Ausland führen wird - deutsche Geschichtskenntnisse benötigen. Zu erfolgreichen Geschäftsabschlüssen, gerade im Ausland, ist mehr notwendig als berufsadäquate Fachkenntnisse, so detailliert sie auch sein mögen. Zu den unumgänglichen Verhandlungstechniken gehört, ganz besonders bei uns Deutschen, die Fähigkeit, im Gespräch auf Fragen zur jüngeren deutschen Geschichte fundierte Antworten geben zu können.

Wir wissen aber, dass viele aus dem angesprochenen Personenkreis Defizite in der Kenntnis der neuesten deutschen Geschichte haben. Unser Angebot „Modern German History“ für die Absolventen nichthistorischer Fächer vermittelt also mehr als nur einen zusätzlichen Mastergrad. In Bayreuth den

Master „Modern German History“ zu erwerben, bedeutet, einen Qualifikations- und Wettbewerbsvorteil zu erreichen, der sich im täglichen Berufsleben auszahlen wird. Im übrigen ist die internationale Dimension der deutschen Geschichte ein wichtiger Teil des Curriculums. Der neue Studiengang beschäftigt sich intensiv mit der internationalen, d.h. vor allem anglophonen Interpretation der deutschen Geschichte. Es geht auch grundsätzlich darum, nicht zu sehr im eigenen Saft der Nationalstaatsgeschichte zu brodeln, sondern die auswärtige Perspektive, insbesondere die amerikanische und angelsächsische Perspektive der neuesten deutschen Geschichte, von Anfang an miteinzubeziehen.

Welchen Zeitraum sieht denn der Historiker für die neueste deutsche Geschichte?

Wir können hier nicht formal antworten. Es gibt bestimmte historiographische Zeitkategorien, die sind natürlich sehr umstritten, denn das ist klar, je weiter wir in der Zeit fortschreiten, umso weniger neu ist, was in der Vergangenheit war, und umso fragwürdiger sind Kategorien wie etwa Mittelalter, weil das, was heute Mittelalter heißt, schon lange nicht mehr Mittelalter ist, wenn es das überhaupt je war. Wenn wir noch einmal von der Perspektive außerhalb Deutschlands ausgehen, dann beginnt der bis heute wesentliche Kontakt mit deutscher Kultur, mit deutscher Politik, mit deutschen Vorgaben und mit deutschem Einfluß, mit Martin Luther, mit der Reformation. Mit der in Deutschland einsetzenden, einen Großteil der übrigen Welt beeinflussenden Reformation beginnen wir. Der Schwerpunkt des Studienganges liegt allerdings eindeutig in der Geschichte des 19. und 20. Jahrhunderts, was mit den Stichworten deutscher Nationalstaat, Bismarck, deutscher Imperialismus und Kolonialismus, noch viel stärker und zentraler Erster Weltkrieg, erste Republik, natio-

nalsozialistische Diktatur, Zweiter Weltkrieg, umschrieben werden kann. Die letzten zwei Jahrhunderte sind zeitlich gesehen die Standpfeiler des Programms „Modern German History“.

Was müssen die Studierenden an spezifischen Anforderungen mitbringen, wenn sie diesen neuen Studiengang studieren wollen?

Bei ausländischen Studenten ist es ein mit einer besonders guten Note, möglichst mit Auszeichnung, abgeschlossener Bachelor, wünschenswert im Fach „German History“. Bei deutschen Studenten kann es irgendein universitärer Abschluß sein, ob es ein Diplom ist, ob es ein Bachelor ist, ob es ein Staatsexamen ist, spielt an sich keine Rolle. Hier ist auch keine Note vorgegeben.

Sie werden sich sicherlich bei der Konzeption des Studienganges Gedanken gemacht haben über die Berufsfelder? Wo landet jemand, der Modern German History studiert hat?

Bei den ausländischen Studenten gehen wir davon aus, dass sie in jedem Fall in ihre Länder zurückgehen und die Aufgaben wahrnehmen, die sie eigentlich bei Beginn Ihres Studiums bereits geplant haben. Das wird weitgehend nicht im direkten Wissenschaftsbetrieb sein, sondern im Journalismus und an der Schule bzw. der Erwachsenenbildung. Im pazifischen Raum, in Australien und in Neuseeland, ist das Spezialistentum viel weniger ausgeprägt als bei uns. Hier ist es durchaus nichts Ungewöhnliches, dass man nach einem Studium der Geschichte etwa zu einer Bank geht. Da gibt es eben diese starke Spezialisierung nicht, sondern der Nachweis eines sehr guten Studiums ist dann auch ein Nachweis für eine gute Berufskarriere. Es zählen weniger das spezielle Fach, das man studiert hat, sondern die Inhalte. Der Vorteil der Geschichte in jenen Ländern besteht darin, dass durch ein erfolgreiches Studium der Geschichte systematisches und

logisches Denken nachgewiesen wird, das für die Karriere in vielen Berufen die Grundvoraussetzung ist. In Japan ist vielerorts sogar für den Eintritt in die Bankenkariere ein vorheriges erfolgreiches Geschichtsstudium nachzuweisen.

Bei den deutschen Studenten geht es im Anschluß an den Erwerbs unseres Masters um die Fortführung des Karriereplanes, der durch den Bachelor begonnen wurde. Wenn einer Naturwissenschaftler ist, dann ist unsere Erwartung, dass er durch diesen Master in Modern German History auch als Naturwissenschaftler arbeitet oder analog als Ökonom, als Manager oder als Jurist. Wir wollen wichtige historische Kenntnisse und Fähigkeiten vermitteln, aber keineswegs zusätzliche Spezialhistoriker ausbilden. Es geht also um ganz andere Kategorien von Studenten als im traditionellen Studiengang Geschichte.

Gibt es schon Rückkopplungen aus der Wirtschaft, die so eine Ausbildung fordert?

Es gibt vereinzelt Anfragen. Wir sind eine kleine Universität, es kann sein, dass bei größeren Universitäten mehr nachgefragt wird, dass mal eine Firma anfragt, ob eine Möglichkeit besteht, einen historischen Kurs für ihre Mitarbeiter durchzuführen. Was ähnliches organisiert ja seit längerem das Auswärtige Amt bei der Ausbildung der höheren Diplomaten. Aber wir wollen eben mehr als einen zwei- oder auch vierwöchigen Kurs; wir wollen keine Geschichte im Schnelldurchlauf mit fragwürdigen, nur oberflächlich vermittelten Inhalten. Unsere Ausbildung soll schon fundierter sein. Die Leistung des jeweiligen Studenten wird dann auch deutlich nachgewiesen durch die Benotung. Spätestens die Abschlußnote macht klar, wie gut der Kandidat oder die Kandidatin in seinen oder ihren Kenntnissen und Fähigkeiten von „Modern German History“ ist. □

Herbert Popp

- Stadtgeographie und Geographie des ländlichen Raums

Professor Popp, was ist eigentlich unter Angewandter Afrikaforschung als Studiengang zu verstehen?

Afrikaforschung in Bayreuth ist ja nichts Neues, weil sich hier insgesamt ungefähr 40 Professoren in der einen oder anderen Weise schon mit Afrika beschäftigen. Das Neue ist jetzt, dass wir zwei eigens entwickelte Studiengänge unter diesem Dach „Angewandte Afrika Studien“ als Bachelor- und Master-Studiengänge zusammenfassen wollen. Die zwei Bestandteile heißen „Geographische Entwicklungsforschung Afrikas“ und „Kultur und Gesellschaft Afrikas“. Der erste der beiden Studiengänge ist mittlerweile auf der Ebene des Ministeriums genehmigt worden. Im Wintersemester 2001/02 kann es losgehen.

Das gemeinsame Anliegen beider Studiengänge ist, eine Ausbildung bereit zu stellen, die für ein späteres Berufsfeld in der internationalen oder nationalen Entwicklungszusammenarbeit und Entwicklungshilfe, also für eine praktische Tätigkeit in Afrika oder für Afrika befähigt.

Es handelt sich also um ein Bachelor- und ein Master-Angebot, die aufeinander aufbauen. Wie unterscheiden die sich? Und dann wird noch einmal ein Unterschied gemacht zwischen geographischer Ausrichtung und mehr kulturwissenschaftlicher Kompetenz? Wie grenzt sich das ab?

Der Bereich, der stärker geographisch ist, kann auf große Kompetenz zurückgreifen. Die betroffenen Dozenten haben in der Entwicklungszusammenarbeit schon vielfältige praktische Projekt-Erfahrungen. Insofern ist uns auch das Feld, in dem die Absolventen künftig einsetzbar sein sollen, im Prinzip schon bekannt. Das sind

einmal nationale Entwicklungsprojekte einzelner Länder in Afrika, das sind zweitens bilaterale Entwicklungsprojekte mit einem europäischen und afrikanischen Staat und drittens internationale Projekte über die Weltbank, über die Vereinten Nationen oder über ähnliche Institutionen. Richtig ist, dass es zunächst einmal einen Bachelor gibt, also ein sechssemestriges Studium. Darauf aufbauend soll es dann aber möglich sein, wenn der Student tiefer einsteigen will, einen Master anzuschließen. Natürlich ist klar, dass dieser Master von der gesamten Qualifikation, die der Student erreicht, höher spezialisierte, weitere Facetten bereitstellt, die der Bachelor-Studiengang nicht leisten kann.

Wir schätzen persönlich diesen Master-Studiengang auch als eine Studienrichtung ein, bei der aller Voraussicht nach viele Absolventen aus Afrika, die schon ihren Bachelor gemacht haben, nach Bayreuth kommen können. Das Universitätssystem in den meisten afrikanischen Ländern funktioniert alles andere als gut. Kinder vor allem von wohlhabenden Familien studieren bisher schon im Ausland. Aber sie tun das fast nur in den USA und Großbritannien, weil eben dort englischsprachige Studiengänge angeboten werden. Würden wir unser Lehrangebot auch in Englisch anbieten, wäre die Chance ganz erheblich, diese Klientel zu erreichen.

Der geographische Bachelor-Studiengang betont in stärkerem Maße Chancen und Risiken von Entwicklungsprojekten in Afrika hinsichtlich der naturräumlichen Potenziale und ihrer ökonomischen, sozialen und technischen Implikationen (vom Tourismus- über das Bewässerungs- zum Regionalentwicklungs-Projekt), der kulturwis-

senschaftliche Bachelor-Studiengang, der voraussichtlich erst im Wintersemester 2002/03 anläuft, fokussiert auf Medien und Kulturinstitutionen, die einen Bedarf an interkulturell und fachlich kompetenten Absolventen nachfragen.

Sie haben es schon erwähnt: eigentlich ist das ein internationaler Studiengang. Bedeutet das in anderen Sprachen dieses Studium zu bewältigen?

Man kann diese Frage normativ sehen, aber auch funktional. Funktional ist meiner Meinung nach bei der Ausbildung und auch bei der späteren Ausrichtung und der ganzen Art und Weise, wie dieser Studiengang ausgerichtet ist, ein ganzer Strauß von Argumenten zu nennen, die für eine Praktizierung der englischen Sprache sprechen. Ich weiß aber sehr wohl, dass es hier gewisse juristische Probleme und prinzipielle Vorbehalte gibt. Wenn wir beispielsweise eine Lehrveranstaltung anbieten, die (a) für die Bachelor, (b) aber gleichzeitig für alle anderen unserer Studiengänge mit deutschen Studenten gedacht sind: Ist es dann den deutschen Studenten zuzumuten, dass sie das Lehrangebot ebenfalls in englischer Sprache absolvieren? Ein heikles Thema, zu dem man noch sachgerechte Lösungen finden muss. Klar ist natürlich, dass man sowohl Angebote in englischer Sprache als auch in deutscher Sprache machen muss. Ob es dann innerhalb eines solchen Kurses die gleiche Klientel oder eine unterschiedliche Klientel ist, ist dann ganz praktisch abzutesten. Ich würde sagen, das muss sich einspielen. Ich kann aus eigener Erfahrung berichten, da ich jetzt in unserem Graduiertenkolleg, das wir in Kooperation unserer Universität mit der Universität Rabat (Marokko) durchführen, seit nunmehr sechs



Trekking-Tourismus ist eine Chance für die Regionalentwicklung peripherer afrikanischer Gebirgsregionen: hier im hohen Atlas bei der Bereitung eines Picknicks für die europäischen Bergwanderer.

Jahren Dozent bin. Ich weiß noch, dass das erste Seminar in französischer Sprache, das ich gemacht habe, mir viel Unsicherheit und Angst bescherte. Mittlerweile laufen die Veranstaltungen absolut problemlos, meine anfänglichen Schwierigkeiten sind Vergangenheit. Ich unterstelle einmal, dass es bei unserem Bachelor/Master ähnlich sein wird. Das ist eine Frage der Praxis, und damit ergibt sich der neue Lehrstil wahrscheinlich mit der Zeit.

Sie haben Recht, wir wollen den Studiengang von vorne herein international ausrichten. Bis zum Beweis des Gegenteils bleibe ich optimistisch, dass wir auch von den Veranstaltungsmodalitäten her ei-

nen praktikablen Weg finden.

Können Sie noch etwas zu der kulturwissenschaftlichen Komponente sagen?

In der Entwicklungszusammenarbeit spielen kulturelle und soziale Dimensionen eine große Rolle. Meine Kollegen in den kulturwissenschaftlichen Fächern sehen Chancen im Medienbereich und in einer medialen Vermittlung afrikabezogener Regionalkompetenz, teilweise auch im Bereich der Kunst. Das Interessante an beiden Studiengängen ist natürlich, dass jeweils der eine Studiengang den anderen als Nebenfach wählen kann. Man kann also beide Qualifikationen im Idealfall miteinander verbinden. Damit hat man dann

wirklich eine geballte anwendungsbezogene Afrikakompetenz.

Was erwarten Sie denn von Ihren Studierenden, die diese beiden Komponenten studieren wollen? Was sollen die als Voraussetzung mitbringen?

Unabhängig von der Frage, in welcher Sprache die Lehrveranstaltungen durchgeführt werden, braucht man Englisch. Wir wünschen uns, dass die künftigen Studenten ein gutes bis sehr gutes Englisch sprechen. Afrika ist aber auch eine Region, in der die französische Sprache einen sehr hohen Stellenwert hat, wie in Nordafrika und Westafrika. Also auch Französischkenntnisse sind nicht von Nachteil. In Teilbereichen des Kontinents

gilt dies auch für Portugiesisch.

Wir erwarten von der ganzen Motivation der Studenten, dass sie an Entwicklungszusammenarbeit interessiert sind und dass sie bereit sind, sich in dieses Feld engagiert einzuarbeiten - übrigens auch in Form praktischer Lehrveranstaltungen in Afrika. Wir haben hier in Bayreuth eine Kompetenz, die ihresgleichen sucht im Vergleich mit andern Universitäten. Wir haben viele Professoren, die wirklich anwendungsbezogen entwicklungs- politisch zu ganz bestimmten Politikbereichen eine Praxis aufweisen, die sie quasi nur weiterzugeben brauchen in Form eines Studiengangs. Deswegen glaube ich schon, dass die Studenten hohe Anforderungen an uns stellen können für ein späteres Tätigkeitsfeld, das sicherlich nicht riesengroß ist, aber in einer komfortablen Nische ein ganz ganz interessantes Produkt zu sein verspricht. Denn es existiert hier auch ein Stellenmarkt, der sich in den letzten Jahren ungeheuer ausgeweitet hat, und zwar durch die sogenannten Nicht-Regierungs-Organisationen, die NGOs. Die schießen wie Pilze aus dem Boden im Rahmen der jüngsten Trends hin zur Entstehung von Zivilgesellschaften und eines Rückzugs der Staaten im Rahmern der Globalisierung. Dort

liegen auch die neuen Arbeitsfelder in der Entwicklungszusammenarbeit, und die NGOs suchen natürlich Leute, die Kompetenz haben. Wir werden hoffentlich solche Leute in einigen Jahren anbieten können.

Die Berufsaussichten scheinen sehr gut zu sein. Gibt es neben diesen Nicht-Regierungs-Organisationen auch noch andere Felder, in denen die Absolventen unterkommen?

Ich glaube, dass die Chancen sehr gut sind. Natürlich, das muss man fairerweise von Anfang an sagen, es ist nicht jedermanns Sache, seine Brötchen zumindest für einen gewissen Zeitraum seines Lebens durch eine Beschäftigung mit Afrika zu verdienen. Ich könnte mir auch vorstellen, wenn jemand Luxus pur liebt, dann ist das nicht unbedingt ein Tätigkeitsfeld, das ihm entsprechen mag. Aber es gibt neben den NGOs durchaus konventionelle, traditionelle Felder, in denen genau diese Personen, die sich für Entwicklungszusammenarbeit interessieren, eine Berufsperspektive haben: In Deutschland ist dies das Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit mit seiner für die Durchführung von Entwicklungsprojekten zuständigen Organisation der GTZ, die immer wieder solche Experten benötigt. Das ist

dann der Deutsche Entwicklungsdienst, das sind auf internationaler Ebene die FAO, das sind die United Nations Development Programme, und die Weltbank hat auch Programme, die eben genau diese Kompetenz abfragen. Also, auch auf internationaler Ebene ist ein Markt da, der sicherlich nicht riesengroß ist. Es ist sogar nur ein kleiner Bereich, aber genau diesem Bereich fehlen Leute, die qualifiziert ausgebildet sind. Wir hoffen, dass wir im Bezug auf die Region Afrika genau diese Kompetenz künftig anbieten können. Damit haben diese Leute sehr gute Chancen sowohl in verschiedenen afrikanischen Kontexten als auch auf internationaler Ebene. □

Friedrich H. Busse - Theoretische Physik

Der Universität wurde zum Wintersemester ein neuer Studiengang genehmigt, der heißt Computik. Was muß man sich darunter vorstellen?

Computik umfaßt die Methoden und Techniken, die sich in den letzten Jahrzehnten in der Arbeit mit Computern als nützlich erwiesen haben. Die Entwicklung, durch die der Computer zu einem essenziellen Instrument der wissenschaftlichen Arbeit geworden ist, hat in der Phy-

sik wohl am frühesten eingesetzt. Aber in den letzten zwei Jahrzehnten haben sich eigentlich alle Naturwissenschaften auf die Arbeit mit dem Computer eingestellt. Viele Problemstellungen, die früher überhaupt nicht angegriffen werden konnten, werden jetzt mit dem Computer erledigt. Die Art und Weise, wie Wissenschaft betrieben wird, hat sich dadurch wesentlich geändert, aber diese neuen Ent-

wicklungen sind nur wenig in die Lehrpläne eingeflossen. Das anspruchsvolle Studium der grundlegenden Wissenschaften wie Mathematik, Physik oder Chemie erlaubt wenig Freiheit für die Beschäftigung mit Computermethoden. Erst neuerdings versucht man, in Vorlesungen und Übungen auf die Möglichkeiten des Computers zurückzugreifen. Auf der anderen Seite sehen wir, daß unsere Absolventen,

die das Diplom oder gar den Doktorgrad erworben haben, von der Industrie besonders begehrt sind, weil sie Computerkenntnisse mitbringen. Diese haben sie im Rahmen ihrer wissenschaftlichen Arbeit bei der Diplomarbeit oder bei der Doktorarbeit erworben. Viele Studenten sind auf diesem Gebiet Spezialisten geworden und kennen sich sogar mit Netzwerken aus. Unsere Doktoranden hier in der Physik „müssen“ die Betreuung des Netzwerkes der Theoretischen Physik übernehmen, da dafür kein eigenes Personal zur Verfügung steht. Die Kenntnisse, die sie mehr oder weniger eher zufällig erwerben, sind später entscheidend für ihre weitere Tätigkeit. Es ist ja bekannt, daß viele Physiker und Physikerinnen (bitte entschuldigen Sie, daß ich im Folgenden die weibliche Bezeichnung nicht jeweils gesondert erwähne) heutzutage in der Softwareindustrie, in Banken und Unternehmensberatungen ihre Jobs finden. Gerade Physiker sind sehr begehrt, weil sie problemlösungsorientiert sind. Ich habe gehört, daß im letzten Jahr bei der McKinsey - Unternehmensberatung in Deutschland 132 Physiker gearbeitet haben und mehr Naturwissenschaftler dort beschäftigt waren als Betriebswirtschaftler und Ökonomen, die man ja eigentlich bei einer Unternehmensberatung vermuten würde. Diese Entwicklung soll durch den neuen Studiengang systematisiert werden, damit computerorientierte Fähigkeiten von den Studenten nicht mehr zufällig, sondern im Rahmen eines Studiums erworben werden. Dabei gehen wir davon aus, daß die Methoden, die in den verschiedenen naturwissenschaftlichen Fächern angewandt werden, übrigens auch in den ingenieurwissenschaftlichen Fächern, sehr ähnlich sind. Die Art und Weise wie ein Computer eingesetzt wird, um irgendwelche Prozesse zu simulieren oder Systeme partieller Differentialgleichungen zu lösen,

ist die gleiche, ob es sich um die Reaktions-Diffusions-Gleichungen des Chemikers oder um die Strömungsprobleme des Ingenieurs handelt. Daher soll der Computik-Student in der Hauptsache einerseits die Methoden lernen, mit denen der Computer benutzt wird und andererseits eine gewisse Kenntnis der verschiedenen Wissenschaften erwerben. Es liegt uns daran, daß der Computik-Student die Fachsprachen von mehreren naturwissenschaftlichen, ingenieurwissenschaftlichen oder wirtschaftswissenschaftlichen Fächern kennenlernt, so daß er weiß um was es geht, wenn er z.B. mit einem Biologen oder Biochemiker spricht. Dies scheint uns notwendig, damit der Computiker in Zusammenarbeit mit solchen Wissenschaftlern seine Fähigkeiten einsetzen kann, um Programme zusammenzustellen, effektive Computercodes zu generieren und Simulationen durchzuführen.

Sie wollen das auf die Naturwissenschaften beschränken. Ist es eigentlich denkbar, daß auch andere Wissenschaften außerhalb der Naturwissenschaften, etwa Ökonomen oder Linguisten, partizipieren können?

Die Möglichkeit sollten wir sicher offen lassen. Wir haben in unseren Studienplänen durchaus an ingenieurwissenschaftliche Fächer gedacht und auch explizit die Wirtschaftswissenschaft mit eingeschlossen, weil dort ähnliche Problemstellungen auftreten. Und Linguistik ist sicher ein Gebiet, das ich insofern naturwissenschaftlich nennen möchte, weil es dort ähnlichen Methoden gearbeitet wird. Bisher ist das noch nicht in der Studienordnung aufgetaucht, aber das könnte ich mir durchaus vorstellen. *Sollte Computik nicht generell heutzutage ein Grundlagenfach sein, das jeder im Laufe seines Studiums mehr oder weniger belegen sollte?*

Das geschieht natürlich in gewisser

Weise, dadurch daß Studenten Programmierkurse usw. besuchen. Aber die Kenntnisse, die sie erwerben, sind nicht so umfassend und tief, wie man sie bei einem Computiker erwartet, der sich speziell auf die Möglichkeiten des Computers ausrichtet. Wir denken da an zukünftige Studenten, die vielleicht als Abiturienten nicht so recht wissen, welches Fach sie nun genau wählen wollen, die aber andererseits von den Möglichkeiten des Computers begeistert sind und meinetwegen vielleicht sogar Hackertypen sind. Diese Abiturienten haben oft den Wunsch, den Computer für sinnvolle Aufgaben auszunutzen und damit Leistungen zu erbringen, die vielleicht andere Studenten nicht so einfach hinkriegen. Es gibt offensichtlich besonders für die Arbeit am Computer begabte junge Leute und diese soll der Studiengang ansprechen, damit sie ihre Talente in einer sinnvollen und zukunftsfruchtigen Weise ausbauen.

Was muß man für Computik mitbringen? Gibt es noch andere wichtige Merkmale, für junge Leute, die Computik studieren wollen?

Ich würde dazu sicher die Mathematik rechnen. Die Methoden der Computik sind auf numerischen und auch algebraischen Methoden aufgebaut. Ohne den Hintergrund in mathematischen Grundlagen wird ein Computiker nicht gute Methoden anwenden können. Er sollte fähig sein, neue Programme aufzustellen und eventuell eine neue Software zu entwickeln, denn er kann sich nicht allein auf vorhandene Bibliotheken verlassen.

Dazu braucht er mathematische Grundlagen, die ihm natürlich im Studium angeboten werden. Ein großer Teil der Ausbildung findet daher in der angewandten Mathematik statt. Begabung und Interesse für Mathematik werden also sehr nützlich sein.

Was unterscheidet ihn dann eigentlich vom Informatiker?

Ich würde sagen, daß ein erheblicher Unterschied existiert. Ein Informatiker setzt sich mit dem Innenleben des Computers auseinander, mit den Prozessen die im Computer ablaufen, mit dem Betriebssystem und den Sprachen, die zu seiner Bedienung entwickelt werden. Ihn interessiert die Architektur von Computern und Computernetzwerken und er beschäftigt sich mit der Software für die Verwaltung von Datenbanken und Expertensystemen. Das Ziel ist dabei, die im Computer ablaufenden Prozesse möglichst effizient zu gestalten. Deswegen unterscheidet sich der Computiker, der eigentlich von dem Innenleben des Computers nicht besonders viel verstehen muß, aber der eben die Möglichkeiten des Computer zur Simulation von dynamischen Vorgängen und zur Lösung rechenintensiver Probleme ausnutzt. Mit einer Problemstellung konfrontiert, wird er zunächst eine mathematische Beschreibung mittels Gleichungen formulieren, dann die effiziente Lösungsmethode herausuchen und diese Methode in der Form von einem Computerprogramm realisieren. Ferner wird er die Daten, die der Computer mittels des getesteten Programms liefert, auswerten und graphisch darstellen. Diese Problemlösungskompetenz sollte das eigentliche Kennzeichen des Computikers sein. Er benutzt den Computer als sein Werkzeug, ist aber an den eigentlichen Vorgängen im Computer weniger interessiert.

Gibt es woanders schon Computik, sowohl im nationalen, wie auch im internationalen Rahmen?

Ja, ähnliche Konzepte wie das der Computik sind in jüngster Zeit an vielen Universitäten entwickelt worden. Man hat festgestellt, die Studenten brauchen eine zusätzliche Ausbildung auf diesen Gebiet und diese wird meistens in Zusatzstudiengängen angeboten. An der ETH Zürich kann man ein Diplom

in Rechnergestützten Naturwissenschaften erwerben. In Erlangen ist ein internationaler Studiengang „Computational Engineering“ eingerichtet worden und ähnliche Studiengänge, in denen die Studenten auf dem Gebiet der Anwendung des Computers auf ingenieurwissenschaftliche Probleme ausgebildet werden, gibt es an einer Reihe von Hochschulen.

Junge Leute fragen natürlich nach den Berufsaussichten.

Professor Busse: Es war ja eine der Motivationen für die Planung des Studiengangs, daß wir gesehen haben, daß die Mehrzahl unserer Absolventen eigentlich gar nicht in direkt physikorientierte Berufe gehen, sondern eben zu Software - Firmen, zu Banken und anderen Finanzdienstleistern. Da stellt man sich natürlich die Frage, ob es wirklich nötig ist, daß sie die ganze moderne Physik kennenlernen und sich z.B. mit den abstrakten Konzepten der Quantenfeldtheorie auseinandersetzen. Das was ihnen in ihrem späteren Beruf am meisten Nutzen bringt, ist, daß sie lernen, Probleme anzugehen und zu lösen. Dies kann man jedoch auch an Beispielen der klassischen Physik üben. Deshalb spielt die Physik im Computikstudium nach wie vor eine wichtige Rolle. Physik ist die Wissenschaft, die von Anfang an besonders problemlösend orientiert war und mit Methoden arbeitet, die auch beispielhaft für andere Wissenschaften geworden sind. Aber der Sinn des Studienganges ist nicht, in die Tiefe der physikalischen Forschung vorzustößen, sondern die Physik als eine Grundlage zu nehmen und daneben andere Wissenschaften kennenzulernen, um den breiten Hintergrund zu erwerben, der für die Anwendungen der Computik besonders nützlich ist. Deswegen sollen im Rahmen des Studiengangs zwei Nebenfächer gewählt werden, eines aus einer mehr mathematisch - physikalischen - technischen Umge-

bung, das andere mehr aus einem biologisch-chemisch oder wirtschaftlich orientierten Gebiet. Auf diese Weise erhält der Computik-Student eine größere Flexibilität in der Wahl seiner Interessengebiete, als das im Physik- oder Chemiestudium der Fall wäre. Wir glauben, daß der Studiengang auf diese Weise auch gerade für den Abiturienten attraktiv ist, der noch nicht recht weiß, welche Richtung er einschlagen will. Das kann er sich dann immer noch überlegen und er muß sich erst bei der Wahl des Nebenfachs im Hauptstudium festlegen.

Und Sie sind sicher, Industrie und Wirtschaft fragen so etwas nach?

Ich nehme dies stark an, weil eben ein Student, der mit den Kenntnissen der Computik die Universität verläßt, doch den anderen Studenten einiges voraus hat. Daß die theoretischen Physiker, die bei uns im Rahmen ihrer Doktorarbeit viel am Computer sitzen, sich von Angeboten aus Industrie und Wirtschaft kaum retten können, geschieht ja nicht wegen ihrer Doktorarbeit, sondern weil sie gute Computerkenntnisse mitbringen und gelernt haben, wie man neue Probleme anpackt. Dies zeigt meiner Meinung nach, daß ein großer Bedarf besteht.

Zum Schluß möchte ich nicht unerwähnt lassen, daß der geplante Studiengang vielleicht doch noch nicht im kommenden Wintersemester eingerichtet werden kann. Da die ursprünglich geplante Wiederbesetzung eines Lehrstuhls der Theoretischen Physik mit besonderer Kompetenz auf dem Gebiet „Computational Physics“ nicht realisiert werden konnte, gibt es momentan personelle Engpässe. □

THE HISTORY OF THE
CITY OF BOSTON
FROM THE FIRST SETTLEMENT
TO THE PRESENT TIME
IN TWO VOLUMES
BY NATHANIEL BENTLEY
OF THE BOSTON BAR
VOL. I.
BOSTON: PUBLISHED BY
J. B. ALLEN, 1822.